UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
ESCOLA DE MINAS – EM
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE
E AUTOMAÇÃO – CECAU

ELIZA CRISTINA PAIVA MARCOS

PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA DO CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO DA UFOP

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2009

Eliza Cristina Paiva Marcos

PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA DO CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO DA UFOP

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Ronilson Rocha

Co-orientador: Gilberto Queiroz da Silva

Ouro Preto

Escola de Minas – UFOP

Agosto/2009

Monografia defendida e aprovada, em 05 de agosto de 2009, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Ronilson Rocha - (Orientador)

Profa. Dra. Eliana Ferreira Rodrigues – Professora Convidada

Prof. Dr. Luiz Fernando Ríspoli Alves – ProfessorConvidado

Dedico este trabalho aos meus professores, minha família, ao Glauber, aos meus amigos de Ouro Preto e às minhas queridas amigas da República Quarto Crescente.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela força, luz e disposição para a concretização desse trabalho.

À minha família, especialmente minha mãe e irmã, por todo amor e dedicação.

Ao Glauber pelo amor e paciência em todos os momentos.

Ao meu orientador Professor Ronilson Rocha pelo apoio.

Ao meu co-orientador Professor Gilberto Queiroz da Silva pelos ensinamentos, paciência e oportunidade de realização desse trabalho.

À Pró-Reitoria de Planejamento e Gestão da UFOP que permitiu a realização, pesquisa e estudo sobre a estação elevatória de água do Campus Morro do Cruzeiro.

À Prefeitura do Campus Universitário e aos funcionários responsáveis pela estação elevatória de água pela colaboração.

Aos professores do curso de Engenharia de Controle e Automação da UFOP pelos ensinamentos.

Aos amigos de Ouro Preto, especialmente Felipe, Júlia, Matheus e Quartocrescentinas pelo companheirismo, apoio e amizade.

"Grande é a tarefa que nos espera...
Para todos constitui quase um dever pensar que o que já se tiver
realizado é sempre pouco em comparação com o que resta por fazer."
João XXIII.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 9

LISTA DE TABELAS 10

RESUMO 11

ABSTRACT 12

1 INTRODUÇÃO 13

1.1 Generalidades 13

1.2 Objetivos 13

1.3 Estrutura do trabalho 13

1.4 Metodologia 14

2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA 17

2.1 Conceitos Fundamentais 17

2.1.1 Manancial 18
2.1.2 Captação 18
2.1.3 Estação elevatória 20
2.1.4 Adutora 20
2.1.5 Reservatório 21
2.1.6 Rede de distribuição 21

2.2 Bombas 22

2.2.1 Bombas volumétricas 22
2.2.2 Turbobombas ou bombas dinâmicas 23
2.2.3 Bombas submersas 25

2.3 *Motor de indução* 26

2.3.1 Partes de um motor de indução 26

2.4 *Painel de comando elétrico* 29

3 SISTEMA ATUAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA UFOP 30

3.1 *Dados de consumo e vazão do sistema* 35

3.2 *Funcionamento do sistema atual* 37

3.2.1 Configurações do sistema atual 37
3.2.2 Modo de operação do sistema atual 39

3.3 Desvantagens do sistema atual 44

3.3.1 Operação manual do controle das bombas 44
3.3.2 Inexistência de informações sobre os níveis dos reservatórios 44
3.3.3 Inexistência de informações sobre as condições de operação das bombas no momento em que estão em funcionamento 44
3.3.4 Inexistência de informações sobre problemas na tubulação 45

3.3.5 3.3.5- Funcionamento das bombas em horário de pico 45
3.3.6 Falta de segurança nas operações 45
4 SISTEMA AUTOMATIZADO 46
4.1 Requisitos necessários para a automatização de sistemas 48
4.2 Nível 50
4.2.1 Medição de nível utilizando de chaves do tipo Flutuador (ou Bóia) 51
4.2.2 Medição de nível utilizando de dispositivo do tipo sensor ultrasônico 51
4.3 Vazão 53
4.3.1 Medição de vazão utilizando de dispositivo do tipo eletromagnético 55
4.4 Transmissores eletrônicos de pressão 56
4.5 Controle de válvulas por meio de válvulas motorizadas elétricas 56
4.6 *4.4- Controle* 57
4.6.1 Técnicas de controle automático 58
4.6.2 Controladores Lógicos Programáveis (CLPS) 60
4.7 Telemetria 63
4.7.1 Meios de comunicação de dados 63
4.7.2 Sistemas de comunicação via rádio 65
4.7.3 Protocolos de Comunicação 68
4.7.4 UTR (Unidade Terminal Remota) 71
4.8 *Sistema Supervisório* 72
5 PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA 75
5.1 Instrumentos, unidades terminais remotas, operações, meios de comunicação, protocolos e características de comando e supervisão do sistema automatizado ... 76
5.1.1 Soft starter 76
5.1.2 Sensores de nível do tipo ultra-sônico 79
5.1.3 Chaves de nível tipo bóia 79
5.1.4 Válvulas motorizadas 80
5.1.5 Transdutores de pressão 80
5.1.6 CLP 80
5.1.7 Rádio-modem 81
5.1.8 Protocolo de comunicação 81
5.1.9 Interface Elétrica 81
5.1.10 UTR 82
5.1.11 Centro de Controle Operacional 83
5.2 Instrumentação e modo de operação e controle da casa de bombas 84
5.3 Instrumentação e modo de operação e controle dos reservatórios 87
5.4 Sistemas de proteção 90
5.4.1 Formas de operação e controle dos sistemas de proteção 90
6 CONCLUSÃO 91
REFERÊNCIAS 94

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema simples de abastecimento de água. 17
Figura 2.2- Tipos de aquíferos e de poços. 19
Figura 2.3- Captação de água subterrânea. 19
Figura 2.4 - Bomba Centrífuga. 25
Figura 2.5 - Motor de Indução. 26
Figura 3.1 – Planta do Campus Morro do Cruzeiro 30
Figura 3.2 – Casa de Bombas 32
Figura 3.3 – Bombas 1 e 2 32
Figura 3.4 – Bombas 3 e 4 33
Figura 3.5 – Reservatório - II 34
Figura 3.6 – Poço UFOP-IV 35
Figura 3.7 – Esquema de abastecimento do sistema principal. 39
Figura 3.8 – Painéis de comando elétrico da casa de bombas 41
Figura 3.9 – Interior de um dos painéis de comando elétrico da casa de bombas 41
Figura 3.10 – Painel da casa de bombas em detalhe 1 42
Figura 3.11 - – Painel da casa de bombas em detalhe 2 43
Figura 3.12 – Registro da casa de bombas 43
Figura 4.1 - Níveis de automação. 47
Figura 4.2 - Multidisciplinaridade da automação. 47
Figura 4.3 - Estratégias de implantação de automação. 49
Figura 4.4- Seleção de instrumentos de nível. 50
Figura 4.5 - Chave de nível tipo Bóia. 51
Figura 4.6 - Sensores Ultrasônicos. 52
Figura 4.7 - Exemplo de aplicação de sensor de nível Ultrasônico. 52
Figura 4.8- Classificação de princípios de medição de vazão. 54
Figura 4.9-Sensor Eletromagnético. 55
Figura 4.10- Transmissores eletrônicos de pressão. 56
Figura 4.11 - Válvula motorizada 57
Figura 4.12 - Elementos de Controle Automático. 58
Figura 4.13- Fluxo de dados entre o CLP e um sistema a controlar. 60
Figura 4.14- Ciclo de varredura do plc. 61
Figura 4.15 - Sistema radio modem 64
Figura 4.16- Elementos de um rádio enlace 65
Figura 4.17- Exemplo de rede Modbus com um mestre CLP e três escravos 70
Figura 4.18 - Estação remota típica. 72
Figura 4.19 - Tela do supervisório do aqualog. 73
Figura 4.20 - Estrutura de sistema de controle automático com supervisório. 74
Figura 5.1 – *Soft Starter* da casa de bombas 77
Figura 5.2 – Comandos do *Soft Starter* da casa de bombas 77
Figura 5.3 - Comparação entre métodos de partida de motores elétricos 78
Figura 5.4 – Relação entre os sinais de saída do sensor ultrasônico e o nível do reservatório 79
Figura 5.5 - Configuração do sistema proposto com suas respectivas UTRs 84
Figura 5.6 - Monitoramento das condições de operação dos conjuntos motor-bomba 86
Figura 5.7 – Condições de operações das linhas de rede da estação elevatória de água 87
Figura 5.8 – Monitoramento e controle de operações dos reservatórios 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Características Bomba 1 33
Tabela 3.2 - Características Bomba 2 33
Tabela 3.3 - Características Bomba 3 34
Tabela 3.4 - Características Bomba 4 34
Tabela 3.5 – Horas de Funcionamento e volume bombeado no sistema 36
Tabela 3.6 – Vazões médias das bombas 1 e 2 36
Tabela 3.7 - Vazões médias das bombas 3 e 4 37
Tabela 3.8 – Vazão média da bomba do poço UFOP II 37

RESUMO

O presente trabalho trata do desenvolvimento de uma proposta para a automatização da estação elevatória de água do Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto buscando viabilizar um sistema eficiente, seguro e de qualidade. Cresce cada vez mais o número de sistemas de abastecimento de água automatizados e informatizados e os benefícios com a diminuição de perdas e energia confirmam as vantagens de utilização desta técnica. A estação elevatória de água do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP é operada de forma manual e sem a utilização de sensores. A partir da análise dos dados obtidos e do modo de operação e controle, foram identificados os problemas do atual sistema e, então, elaborada uma proposta que sugere uma estação elevatória de água automatizada que opere de forma desassistida e confiável.

Palavras-chave: Automatização, estação elevatória de água, telemetria.

ABSTRACT

This work deals with the development of a proposal for the automation of the water pump station from the Campus Morro do Cruzeiro, Universidade Federal de Ouro Preto enable seeking an efficient, safe, and quality. Growing number of water supply systems and automated systems and the benefits with the reduction of energy losses and confirm the advantages of using this technique. The water pump station is operated in a manual and without the use of sensors. From the analysis of data and the mode of operation and control, were the problems of the current system and created a proposal which suggests a water pump station operating in automated, unattended and reliable.

Keywords: Automation, water pump station, telemetry.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

No mundo atual é cada vez mais necessária a conciliação entre a preservação de recursos naturais e o desenvolvimento tecnológico. Bens como a água e a energia são essenciais em nossas vidas e devem sempre ser usados de forma racional e consciente.

Por diversas vezes um sistema automatizado pode garantir o controle e a manutenção, através da tecnologia da informação, e ao mesmo tempo fazer uma melhor utilização e preservação dos recursos naturais.

A automatização de sistemas também se torna um fator econômico importante. Um sistema bem regulado e supervisionado tem uma qualidade maior, evitando desperdícios de água e energia. No presente trabalho, essa melhor utilização e preservação dos recursos e também essa redução de desperdícios, se dá através de uma proposta de sistema automatizado para a estação elevatória de água do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP.

1.2 Objetivos

Criar uma proposta de automatização da Estação Elevatória de água do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP.

1.3 Estrutura do trabalho

No segundo capítulo deste trabalho, apresenta-se os termos e procedimentos, os conceitos, as definições e o funcionamento de elementos pertencentes a um sistema de abastecimento de água.

No terceiro capítulo é apresentada a configuração do atual sistema. Este capítulo, além de mostrar as características dos elementos atualmente presentes no sistema e seu funcionamento, também visa demonstrar as desvantagens e defeitos que ocorrem neste.

Atualmente, esse sistema não possui automatização e o controle é feito de forma manual por funcionários da universidade. Como não há um controle do sistema, por diversas vezes o nível do reservatório é excedido, fazendo com que este transborde, gerando um desperdício de água e energia. Por não haver comunicação entre as bombas e o reservatório, a água continua a transbordar, e o fato só é notado através da visualização física da área alagada.

No quarto capítulo apresenta-se os conceitos e elementos de um sistema de abastecimento de água automatizado como também os requisitos e procedimentos necessários para uma correta automatização.

Uma proposta de automatização requer estudo sobre a configuração do atual sistema, tendo como foco a demanda de água, a demanda de energia e o controle dos níveis dos reservatórios. O quinto capítulo traz a proposta de automatização do sistema, relacionando quais ferramentas e elementos serão utilizados nesta, após se ter avaliado o sistema nos capítulos anteriores, priorizando as vantagens que a automatização traria a este. Ele mostra o local onde serão instalados os novos elementos do sistema automatizado, como também a maneira para que todos estes elementos atuem em conjunto.

No sexto capítulo há uma comparação entre o funcionamento do sistema atual e as possíveis vantagens obtidas com o sistema automatizado proposto. Nele estão demonstrados os benefícios da automatização, tais como redução de desperdício de água e energia, e também o aumento do custo benefício de um sistema automatizado, tendo em vista que a automatização proporciona maior controle, manutenção mais eficiente e melhor segurança ao sistema.

1.4 Metodologia

O primeiro passo ao se propor a modificação de um sistema em vigor é conhecer detalhadamente seu funcionamento e composição. Para a compreensão do sistema como um todo foi necessário um trabalho de campo extensivo, tendo sido visitados não só os locais onde estão presentes os componentes do bombeamento de água principal da UFOP (o qual é o objeto de estudo deste trabalho), mas também as configurações de bombeamentos secundários e de pequeno porte, e os locais de abastecimento de outras unidades da UFOP, que não se encontram no Campus Universitário Morro do Cruzeiro.

Por meio destas visitas de campo foram obtidos:

a) as localizações dos diversos pontos pertencentes ao sistema de abastecimento de água da UFOP;

b) o registro através de imagens;

c) as condições físicas em que os componentes se apresentam;

d) a capacidade e as características de operação dos elementos;

e) a aferição das condições de tensão, potência e corrente das bombas, no momento em que estão em funcionamento.

Após a aquisição dos dados e o entendimento sobre o funcionamento do atual sistema, foram feitos estudos sobre este, onde foram apresentados desvantagens e defeitos. Verificou-se que a falta de controle gerava desperdícios de água e energia elétrica além de dificuldade de manutenção. Uma vez chegada a essas conclusões sobre quais eram os problemas do atual sistema, foi feito um estudo para se saber qual o procedimento devido para se automatizar uma estação elevatória de água.

As pesquisas sobre estações que já tinham sido automatizadas serviram de entendimento para se saber quais os recursos e elementos utilizados em sistemas diversos e como foi o processo de automatização.

Através do estudo sobre os diversos equipamentos e recursos existentes no mercado, seu modo de funcionamento, as desvantagens e vantagens em se optar por determinado equipamento ou serviço, foram feitas as escolhas de quais seriam os instrumentos adotados na proposta de automatização.

Com isso elaborou-se um plano alternativo de otimização da estação elevatória de água da UFOP através da sua automatização. Nesta proposta são demonstrados os benefícios que a automatização traria ao sistema, tais como a diminuição do desperdício de água, tendo em vista o controle dos níveis dos reservatórios, o controle do sistema através da supervisão automática e desassistida e a diminuição nos gastos de energia, proporcionada por sensores e atuadores que controlam as condições de operação dos componentes do sistema de abastecimento de água.

É importante destacar que este trabalho visa demonstrar somente o custo-benefício que a automatização traria ao funcionamento do sistema da estação elevatória de água através de sua otimização. Não é de interesse avaliar o custo-benefício do sistema, quando incluídos os gastos para sua implementação. Demonstra-se os benefícios que a automatização pode trazer e, principalmente, como ela pode ajudar na manutenção, controle e supervisão da estação elevatória de água.

2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1 Conceitos Fundamentais

De acordo com TSUTIYA (2006), os sistemas de abastecimento de água tem sua estrutura variada de acordo com características locais e particulares. Mas em geral são constituídos das seguintes partes:

a) manancial;
b) captação;
c) estação elevatória;
d) adutora;
e) estação de tratamento de água;
f) reservatório;
g) rede de distribuição.

A figura 2.1 ilustra as partes constituintes de um sistema simples de abastecimento de água.

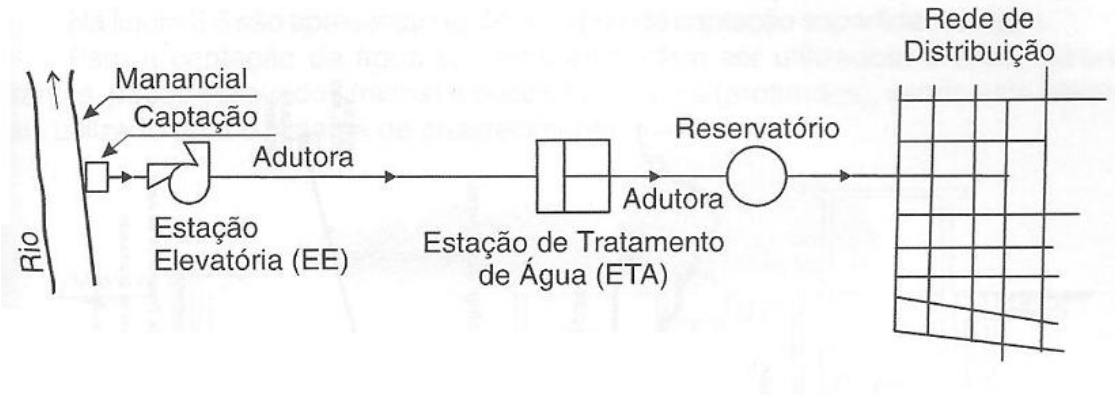

Figura 2.1 - Sistema simples de abastecimento de água.

Fonte: TSUTIYA, 2006

Não será estudado o conceito de estação de tratamento de água por essa não pertencer ao sistema de abastecimento de água da Universidade Federal de Ouro Preto.

2.1.1 Manancial

É o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário (TSUTIYA, 2006, p. 09).

2.1.2 Captação

Segundo TSUTIYA (2006), captação de água é o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento. As obras de captação devem ser projetadas e construídas de forma que, em qualquer época do ano, sejam asseguradas condições de fácil entrada de água e, tanto quanto possível, da melhor qualidade encontrada no manancial em consideração. Deve-se também ter sempre em vista, ao desenvolver um projeto, facilidades de operação e manutenção ao longo do tempo.

Para a captação de água subterrânea podem ser utilizados drenos, galerias, filtrantes, poços escavados (rasos) e poços perfurados (profundos), sendo este último o mais utilizado para o sistema de abastecimento de água.

Na figura 2.2 tem-se um poço perfurado em um aqüífero freático - poço freático- que terá o nível de água em seu interior coincidente com o nível do lençol. Em um poço que penetra num aqüífero artesiano – poço artesiano- o nível de água em seu interior subirá acima da camada aqüífera. Poderá, às vezes, atingir a boca do poço e produzir uma descarga contínua. Neste caso particular, o poço artesiano denomina-se jorrante ou surgente (TSUTIYA, 2006, p. 09).

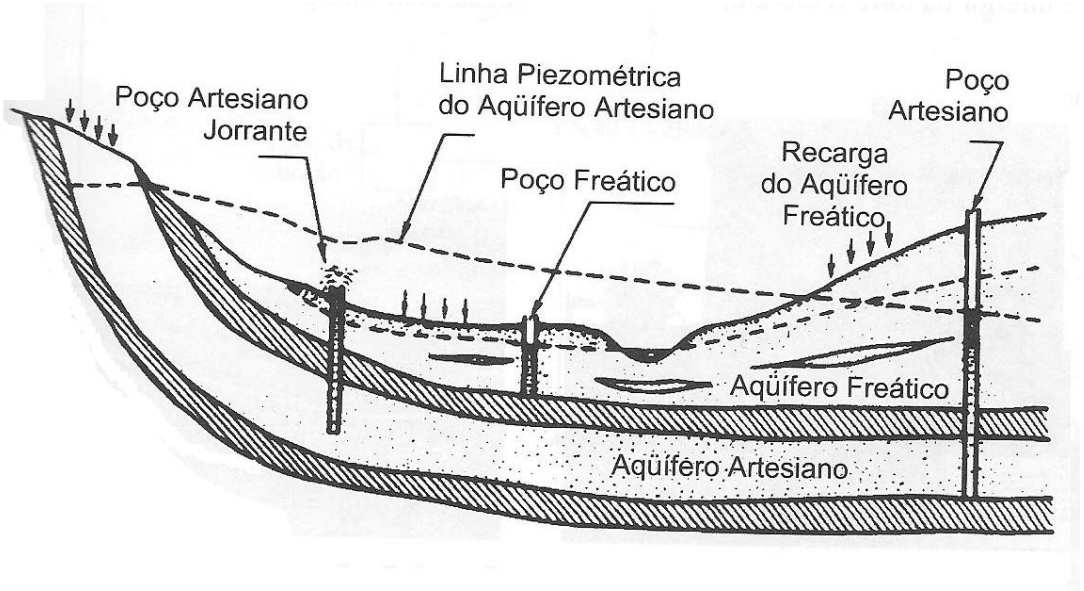

Figura 2.2- Tipos de aquíferos e de poços.
Fonte: NOGAMI, YASSUDA, 1976.

A figura 2.3 apresenta um esquema de captação de água em poço profundo e o bombeamento para o reservatório de água.

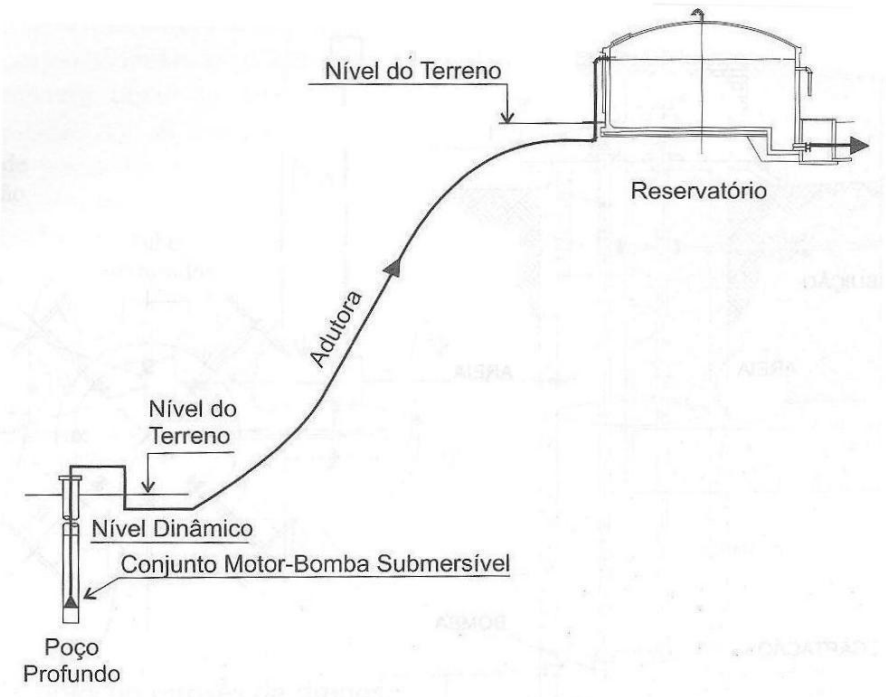

Figura 2.3- Captação de água subterrânea.
Fonte: TSUTIYA, 2006.

2.1.3 Estação elevatória

Um sistema de recalque ou elevatório é o conjunto de tubulações, acessórios, bombas e motores necessário para transportar uma certa vazão de um reservatório inferior para um reservatório superior .

Em geral é composto por três partes (TSUTIYA, 2006):

a) tubulação de sucção: canalização que liga o reservatório inferior à bomba;

b) conjunto elevatório: constituído por uma ou mais bombas e respectivos motores;

c) tubulação de recalque: canalização que liga a bomba ao reservatório superior.

2.1.3.1 Casa de bombas

Local em espécie de abrigo onde se encontram as bombas, registros, tubos, quadro de comando e outros acessórios. Garante que a bomba esteja em local seco, bem ventilado e de fácil acesso para inspeção e manutenção. Deve ser localizada próxima ao manancial para que a linha de sucção seja o mais reta e curta possível.

2.1.4 Adutora

Adutoras são canalizações do sistema de abastecimento e destinam-se a conduzir água entre unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem a água aos consumidores, mas podem existir derivações que são as sub-adutoras.

Quanto a natureza da água transportada, as adutoras podem ser classificadas em adutoras de água bruta e adutoras de água tratada. Entretanto, segundo TSUTIYA (2006), sob o ponto de vista hidráulico, existem os seguintes tipos de adutoras:

a) adutoras por gravidade: transportam a água de uma cota mais elevada para a cota mais baixa;

b) adutoras por recalque: transportam a água de um ponto a outro com cota mais elevada, através de uma estação elevatória e podem ser:

- único recalque;
- recalque múltiplo.

c) adutoras mistas: trechos por gravidade e trechos por recalque.

2.1.5 Reservatório

Segundo TSUTIYA (2006), os reservatórios de distribuição de água dependendo da sua configuração e sua posição com relação à rede de distribuição, podem ser classificados em:

a) enterrados, semi-enterrados, apoiados ou elevados;

b) de montante ou de jusante;

Os reservatórios elevados, devido ao seu custo, em geral são associados a reservatórios apoiados ou enterrados que armazenam a maior parte do volume necessário.

2.1.6 Rede de distribuição

Segundo TSUTIYA (2006), rede de distribuição é a unidade do sistema constituída por um conjunto de tubulações que conduz a água para os pontos de consumo.

Na rede de distribuição distinguem-se dois tipos de condutos:

a) condutos principais;

b) condutos secundários.

Condutos principais são as canalizações de maior diâmetro, responsáveis pela alimentação de condutos secundários, e são dispostas obedecendo à diferentes traçados, tais como:

a) redes ramificadas;
b) redes malhadas;
c) redes mistas.

Os condutos secundários de menor diâmetro, abastecem os consumidores a serem atendidos pelo sistema, TSUTIYA (2006).

2.2 Bombas

A classificação geral mais significativa para as bombas é aquela apresentada pelo "Hydraulic Institute", segundo o qual as bombas são subdivididas em dois grande grupos:

a) bombas volumétricas;
b) turbobombas.

2.2.1 Bombas volumétricas

Segundo CARVALHO (1992), as bombas volumétricas (que podem ser alternativas ou rotativas) caracterizam-se por produzir, em uma ou mais de suas câmaras, variações do volume interno, o que acarreta ou provoca as variações de pressão responsáveis pela aspiração e recalque do fluido.

2.2.2 Turbobombas ou bombas dinâmicas

São aquelas que se caracterizam pela existência de um rotor dotado de palhetas em contato com o fluido, de maneira tal que, acionado por uma fonte externa de energia, a ação da força centrífuga e ou a força de sustentação produzida pelo escoamento do fluido em torno da palheta (perfil aerodinâmico) provocam uma depressão à entrada do rotor que aspira o fluido e uma sobrepressão à saída do mesmo, responsável pelo recalque do fluido.(CARVALHO, 1992)

2.2.2.1 Classificação das turbobombas quanto a trajetória do fluido dentro do rotor

Segundo CARVALHO (1992), basicamente qualquer turbobomba é constituída por dois órgãos fundamentais:

a) rotor: órgão móvel que energiza o fluido, criando uma depressão em seu centro para aspirá-lo e uma sobrepressão na periferia para recalcá-lo. É acionado através de um eixo que lhe transmite o movimento de rotação, graças à energia de uma fonte externa (motor de acionamento);

b) difusor: canal de secção crescente ao qual compete coletar o fluido expelido pelo rotor e encaminhá-lo à tubulação de recalque. Por ser de secção crescente (no sentido do escoamento), ele diminui a velocidade e aumenta a pressão do fluido.

A principal classificação das turbobombas leva em consideração a trajetória desenvolvida pelo fluido no rotor. Assim, quanto a este aspecto, segundo CARVALHO (1992), classificam-se as turbobombas em:

a) bombas axiais: trajetória do fluido se desenvolve, com relação ao rotor, em direção preponderantemente axial. São bombas cujo campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de grandes vazões em pequenas alturas;

b) bombas radiais ou centrífugas: o fluido penetra axialmente no rotor, sendo sua trajetória bruscamente desviada para a direção radial. São bombas cujo campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de pequenas vazões em grandes alturas;

c) bombas diagonais ou de fluxo misto: constitui um caso intermediário entre as bombas radiais e axiais, tanto no que diz respeito à trajetória, como, inclusive no campo de emprego. Assim, sua trajetória se faz numa diagonal e seu campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de médias vazões em médias alturas.

2.2.2.2 Funcionamento da bomba centrífuga

Segundo CARVALHO (1992), no funcionamento de uma bomba centrífuga, uma fonte externa à bomba, como um motor elétrico, gira um ou mais rotores dentro do corpo da bomba, movimentando o líquido e criando a força centrífuga que se transforma em energia de pressão.

A entrada do líquido na bomba é chamada de sucção, onde a pressão pode ser inferior à atmosférica (vácuo) ou superior. O local de saída do líquido da bomba é conhecido como de recalque. A diferença de pressão na sucção e no recalque da bomba é conhecido como altura manométrica total e determina a capacidade da bomba em transferir líquido, em função das pressões que deverá vencer, expressa em energia de pressão (CARVALHO, 1992)

A figura 2.4 ilustra uma bomba centrífuga.

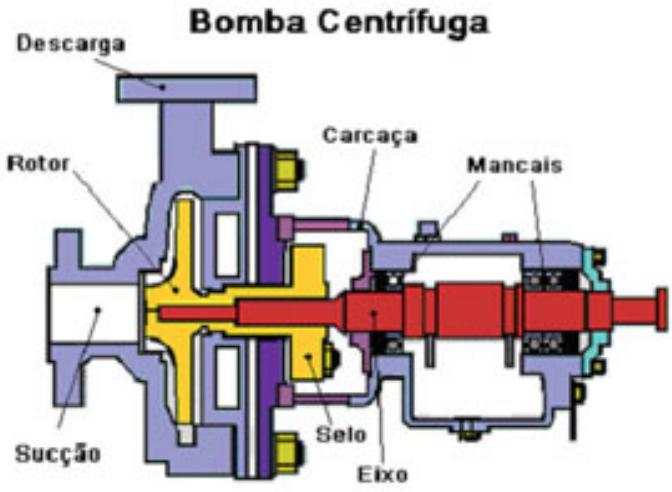

Figura 2.4 - Bomba Centrífuga.
Fonte: DU-O-LAP, 2009

2.2.3 Bombas submersas

Segundo TSUTIYA (2006), as bombas submersas apresentam um motor elétrico em curto-circuito e a bomba (propriamente dita) acoplados num conjunto fechado que trabalha submerso no poço.

O enrolamento do motor é envolvido e resfriado por água, sendo a fiação isolada por borracha ou por material plástico.

A água penetra em um crivo (tubulação furada) preso entre o motor e a bomba, sendo o eixo coberto por uma bucha protetora de alta resistência ou, então, construídos de aço inox.

A bomba é normalmente multicelular e tem sua maior aplicação na extração de água de poços de média e grande profundidade. São muito usadas também na manutenção ou no rebaixamento de níveis do lençol freático (TSUTIYA, 2006)

2.3 *Motor de indução*

Motor de indução é um motor elétrico construído de tal maneira que se têm dois campos magnéticos girantes. Os motores de indução podem ser:

- Monofásicos: utilizados para acionamento de cargas de pequena potência, até 5 cv;
- Trifásicos: largamente utilizados em elevatórias de água ou esgoto, de pequenas a grandes potências.

2.3.1 Partes de um motor de indução

Segundo CARVALHO (1992), um motor de indução é composto basicamente de duas partes: estator e rotor. O espaço entre o estator e o rotor é denominado entreferro. O estator constitui a parte estática e o rotor a parte móvel. O estator é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas por correntes parasitas e histerese. Estas chapas têm o formato de um anel com ranhuras internas (vista frontal) de tal maneira que possam ser alojados enrolamentos, os quais por sua vez, quando em operação, deverão criar um campo magnético no estator. O rotor também é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente, com o formato também de anel (vista frontal) e com os enrolamentos alojados longitudinalmente. A figura 2.5 ilustra um motor de indução.

Figura 2.5 - Motor de Indução.
Fonte: UFCG, 2009

2.3.1.1 Métodos de comando de motores de indução

Segundo TSUTIYA (2006), os métodos de comando de um motor de indução são implementados com equipamentos eletromecânicos, elétricos e eletrônicos. Estes equipamentos permitem acelerar (partir) e desacelerar (frenar) o motor de acordo com requisitos impostos pela carga, segurança, concessionárias de energia elétrica, etc.

Conforme suas características de torque em relação à velocidade e corrente de partida, os motores de indução trifásicos são classificados em função do tipo de carga. Na categoria N, constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e são utilizados para o acionamento de cargas normais como as bombas.

As principais formas de partida de motores elétricos são (WEG, 2001):

2.3.1.2 Partida direta

Partida direta é o método de acionamento de motores de corrente alternada, na qual o motor é conectado diretamente a rede elétrica. Ou seja, ela se dá quando aplicamos a tensão nominal sobre os enrolamentos do estator do motor, de maneira direta.

Neste tipo de partida, a corrente de pico (Ip) pode variar de 4 a 12 vezes a corrente nominal do motor, sendo a forma mais simples de partir um motor. Comumente, a vantagem principal é o custo, pois não é necessário nenhum outro dispostivo de suporte que auxilie a suavizar as amplitudes de corrente durante a partida.

Há inúmeras desvantagens com relação a outros métodos de partida, como por exemplo, um transiente de corrente e torque durante a partida. A corrente variando entre 4 e 12 vezes a nominal, obriga o projetista do sistema elétrico a superdimensionar o sistema de alimentação, disjuntores, fusíveis, que fazem parte do circuito elétrico que alimenta o motor. Dependendo dos valores de pico de corrente, a tensão do sistema pode sofrer quedas. O Transiente de torque faz com que os componentes mecânicos associados ao eixo do motor sofram desgaste prematuro. A situação piora à medida que a potência elétrica do motor aumenta. Métodos alternativos que suavizam a partida direta, podem ser obtidos com contatores e

temporizadores (partida Estrela-Triângulo), autotransformadores ou sistemas eletrônicos como os Soft Starters.

2.3.1.3 Partida estrela-triângulo

A Partida estrela-triângulo é um método de partida de motores elétricos trifásicos, no qual utiliza-se uma chave de mesmo nome. Esta chave, que pode ser manual ou automática, é interligada aos enrolamentos do motor, que devem estar desmembrados em 6 terminais.

O motor parte em configuração estrela, onde cada enrolamento receberá uma tensão mais baixa (fase-neutra). Após o motor vencer a sua inércia a chave é atuada, convertendo a configuração para triângulo, aumentando a tensão nos enrolamentos (fase-fase). Logo, para um sistema trifásico 220/ 380 V, cada enrolamento do motor inicia com 220 V e termina a partida em 380 V, no qual será sua tensão nominal.

Através desta manobra o motor realizará uma partida mais suave, reduzindo sua corrente de partida em aproximadamente 1/3 da que seria se acionado em partida direta.

O uso de Partida Estrela-triângulo não pode ser usado em qualquer situação. Na verdade o sistema exige que o motor tenha disponível pelo menos seis terminais e que a tensão nominal (tensão da concessionária) seja igual à tensão de triângulo do motor.

Um ponto importantíssimo em relação a este tipo de partida de motor elétrico trifásico, é que o fechamento para triângulo só deverá ser feito quando o motor atingir pelos menos noventa por cento da RPM nominal deste. Logo, o ajuste de tempo de mudança estrela-triângulo deverá estar baseado neste fato. A mudança da configuração para triângulo sem que o motor tenha atingido este percentual de rotação provocaria pico de corrente praticamente igual ao que teria se usasse partida direta. Se o motor em questão não preenche este quesito por conta da carga instalada, é conveniente que seja usado outro tipo de partida como: Chave compensadora, Soft starter ou até mesmo um Inversor de frequência nesta função, etc.

2.3.1.4 Partida eletrônica (soft starter)

Soft Starter é um dispositivo eletrônico composto de pontes tiristorizadas acionadas por uma placa eletrônica, a fim de controlar a tensão de partida de motores de corrente alternada sistema trifásico. Seu uso é comum em bombas centrífugas, ventiladores, e motores de elevada potência cuja aplicação não exija a variação de velocidade.

O soft-starter controla a tensão sobre o motor através do circuito de potência, constituído por seis SCRs, variando o ângulo de disparo dos mesmos e consequentemente variando a tensão eficaz aplicada ao motor. Assim, pode-se controlar a corrente de partida do motor, proporcionando uma "partida suave", de forma a não provocar quedas de tensão elétrica bruscas na rede de alimentação, como ocorre em partidas diretas.

Costumam funcionar com a tecnologia chamada by-pass, a qual, após o motor partir e receber toda a tensão da rede, liga-se um contator que substitui os módulos de tiristores, evitando sobreaquecimento dos mesmos.

2.4 *Painel de comando elétrico*

Segundo TSUTIYA (2006), os painéis de comando elétrico são utilizados em estações elevatórias para operar e supervisionar todo o sistema de bombeamento. O painel de comando é basicamente constituído dos seguintes elementos:

a) comando liga-desliga das bombas;

b) chave seletora automático manual;

c) chave seletora de bombas;

d) alarme e sinalização de defeitos;

e) sinalização de operação;

f) indicador de corrente (amperímetro);

g) indicador de tensão (voltímetro);

h) relês auxiliares;

i) supervisão do sistema.

3 SISTEMA ATUAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA UFOP

A figura 3.1 ilustra o sistema de abastecimento de água do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP.

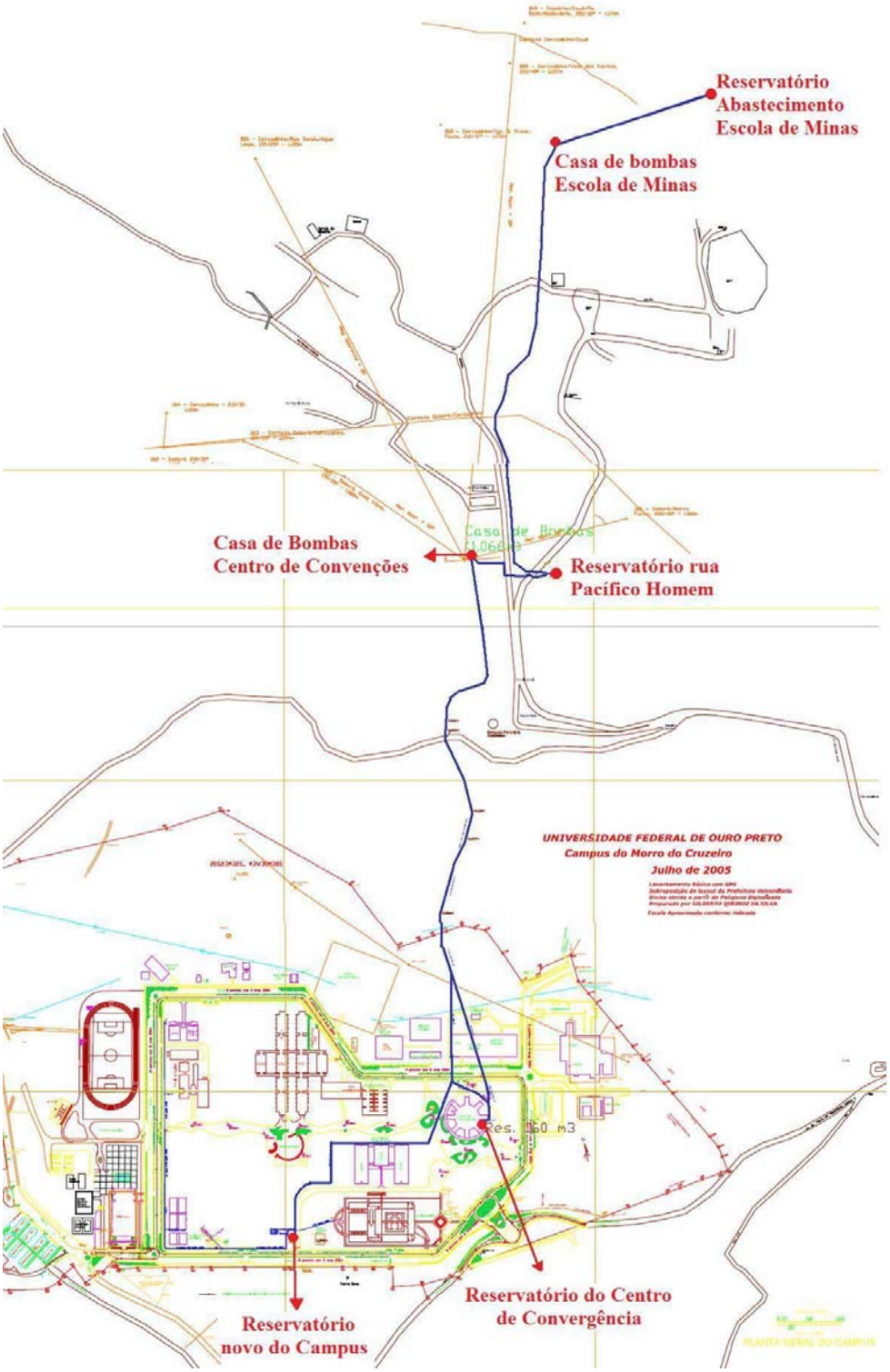

Figura 3.1 – Planta do Campus Morro do Cruzeiro

O sistema de abastecimento de água da Universidade Federal de Ouro Preto é um sistema composto por diversas unidades de diferentes complexidades e localizações.

No presente trabalho será de estudo e importância o funcionamento do sistema principal.

O sistema principal é composto por:

a) poço UFOP-II: poço artesiano perfurado e profundo que possui uma bomba submersa para fazer o recalque da água;

b) reservatório da casa de bombas: localiza-se dentro da casa de bombas e possui capacidade de 7 mil litros;

c) reservatório da Pacífico Homem: fica localizado na rua Pacífico Homem e possui capacidade de 350 mil litros;

d) casa de bombas: local onde estão as bombas centrífugas 1,2,3 e 4, além de registros de manobras, painel de comando elétrico e o reservatório de 7 mil litros acima citado. Fica localizada no Centro de Artes e Convenções da UFOP. A figura 3.2 representa uma ilustração da casa de bombas. Na figura 3.3 tem-se as fotos das bombas 1 e 2 . Na figura 3.4 tem-se as fotos das bombas 3 e 4. As tabelas 3.1 indicam os modelos das bombas 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

e) reservatório I - Centro de Convergência - Campus: é responsável pelo abastecimento do Campus Universitário. Localizado no centro de convergência e possui capacidade de 160 mil litros;

f) reservatório II – Novo - Campus: está conectado diretamente com o reservatório do Centro de Convergência. Fica localizado próximo a Escola de Farmácia do Campus Universitário e possui capacidade de 500 mil litros. Na figura 3.5 tem-se a foto do reservatório II.

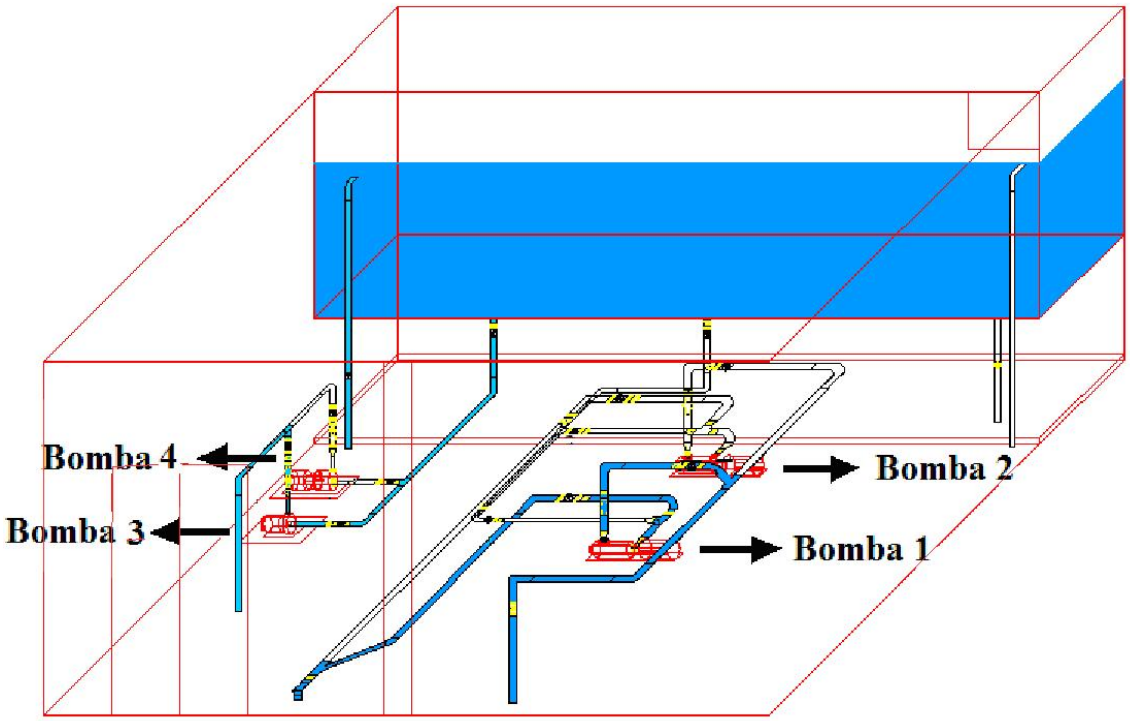

Figura 3.2 – Casa de Bombas

Figura 3.3 – Bombas 1 e 2

Figura 3.4 – Bombas 3 e 4

Tabela 3.1 – Características Bomba 1

BOMBA 1	Bomba Centrífuga Multiestágio KSB
Modelo	40/7
Motor	Trifásico Marca Weg
Potência	40 CV
Tensão	220V
Corrente	97 A

Tabela 3.2 - Características Bomba 2

BOMBA 2	Bomba Centrífuga Multiestágio KSB
Modelo	40/6
Motor	Trifásico Marca Weg
Potência	30 CV
Tensão	220 V
Corrente	74 A

Tabela 3.3 - Características Bomba 3

BOMBA 3	Bomba Centrífuga KSB
Modelo	Meganorm
Motor	Trifásico Marca Weg
Potência	4 CV
Tensão	220V
Corrente	11 A

Tabela 3.4 - Características Bomba 4

BOMBA 4	Bomba Centrífuga KSB
Modelo	Meganorm
Motor	Trifásico Marca Weg
Potência	4 CV
Tensão	220V
Corrente	10,8 A

Figura 3.5 – Reservatório - II

Um outro poço artesiano profundo, chamado UFOP–IV, está para ser interligado ao sistema junto a casa de bombas e, em conjunto com o poço UFOP-II, será responsável pelo fornecimento de água.

A figura 3.6 representa a foto do poço UFOP-IV.

Figura 3.6 – Poço UFOP-IV

Existem vários outros sistemas secundários e subsistemas presentes no abastecimento de água do Campus Universitário da UFOP, como as torres e reservatórios. Estes subsistemas são responsáveis pelo abastecimento de água dos prédios e unidades do Campus.

3.1 *Dados de consumo e vazão do sistema*

De acordo com os dados obtidos através das anotações dos operadores da estação elevatória de água da UFOP em um semestre, pode-se obter a média de horas diárias de funcionamento das bombas e o volume de água bombeado no sistema. A tabela 3.5 apresenta a média semestral para as horas de funcionamento e para o volume de água bombeados diariamente. Para cálculo desses valores, foi considerado que as vazões das bombas 1 e 2 da estação elevatória eram de:

Bomba 1: 19,54 m3/h

Bomba 2: 18,00 m3/h

Tabela 3.5 – Horas de Funcionamento e volume bombeado no sistema

Horas de funcionamento e volume bombeado		
Média	**Horas funcionamento diário (h)**	**Volume bombeado diário (m3)**
Agosto / 2007	17,62	293,29
Setembro / 2007	16,03	298,34
Outubro / 2007	16,19	295,38
Novembro / 2007	16,98	315,26
Dezembro / 2007	16,35	303,78
Janeiro / 2008	15,68	287,7
Média Semestral	**16,475**	**298,96**

Quando divide-se o valor médio do volume pelo tempo de funcionamento, é possível obter a demanda em m3/h do sistema. Com isso temos um valor de demanda diária de 18,15 m3/h. Esse valor confere com uma outra medida realizada no hidrômetro existente no campus em 08/02/2008, onde constatou-se uma vazão de 18,2 m3/h no sistema.

As vazões de todas as bombas também puderam ser obtidas através de testes realizados no sistema. As tabelas 3.6 , 3.7 e 3.8 demonstram os valores de vazão obtidos pra as bombas 1 e 2, 3 e 4, e bomba do poço UFOP II, respectivamente:

Tabela 3.6 – Vazões médias das bombas 1 e 2

Data	**Bomba 1**	**Bomba 2**
08/02/2008	19,27	defeito
12/09/2007	19,54	21,77
09/08/2007	17,92	16,46
19/04/2007	16,96	defeito
Vazões Médias (m3/h)	**18,42**	**19,12**

Tabela 3.7 - Vazões médias das bombas 3 e 4

Data	Bomba 3	Bomba 4
08/02/2008	11,53	0
12/09/2007	9,14	10,85
09/08/2007	0	0
19/04/2007	12,02	8,33
Vazões Médias (m3/h)	**10,90**	**9,59**

Tabela 3.8 – Vazão média da bomba do poço UFOP II

Data	Bomba poço UFOP II
08/02/2008	6,93
12/09/2007	5,11
09/08/2007	4,82
19/04/2007	8,3
Vazões Médias (m3/h)	**6,29**

3.2 *Funcionamento do sistema atual*

3.2.1 Configurações do sistema atual

No sistema atual tem-se duas opções de funcionamento que, de acordo com a configuração dos registros da casa de bombas e o acionamento das respectivas bombas, pode-se escolher em qual configuração operar.

3.2.1.1 Configuração opcional

O sistema possui uma configuração que serve como opção de utilização se necessário, mas não é a usualmente utilizada. Essa configuração opera da seguinte forma:

a) através da bomba submersa do poço UFOP-II, a água é recalcada ao reservatório da casa de bombas;

b) as bombas 1 e 2 se revezam na função de retirar água do reservatório da casa de bombas e recalcar a para os reservatórios do Campus Universitário.

Como dito anteriormente esta configuração não é a usual, ela apenas existe como uma opção, tendo em vista que o reservatório da casa de bombas não possui uma capacidade elevada, sendo esta de apenas 7 mil litros.

3.2.1.2 Configuração usual

A outra configuração possível, e também a comumente utilizada, e importante para este trabalho é :

a) a água é recalcada do poço UFOP-II (através da bomba submersa existente) para o reservatório da casa de bombas;

b) as bombas 3 e 4 revezam em uma mesma função que é a de captar a água do reservatório da casa de bombas e a recalcar para o reservatório da Pacífico Homem;

c) as bombas 1 e 2, como dito anteriormente, se revezam em uma mesma função, captam a água do reservatório da Pacífico Homem e a recalca até os reservatórios do Campus Universitário.

A figura 3.7 é de caráter ilustrativo e facilita o entendimento do sistema principal

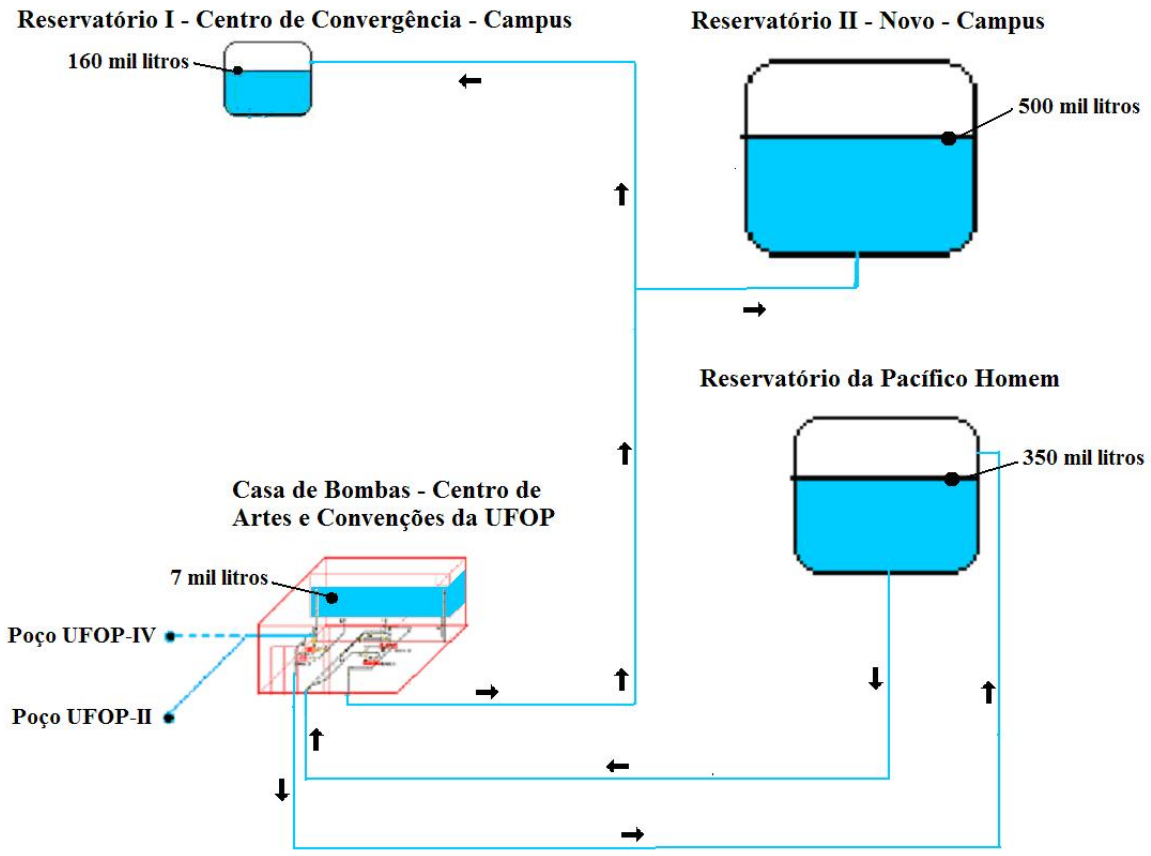
Reservatório I - Centro de Convergência - Campus
160 mil litros
Reservatório II - Novo - Campus
500 mil litros
Reservatório da Pacífico Homem
350 mil litros
Casa de Bombas - Centro de
Artes e Convenções da UFOP
7 mil litros
Poço UFOP-IV
Poço UFOP-II

Figura 3.7 – Esquema de abastecimento do sistema principal.

3.2.2 Modo de operação do sistema atual

Nas duas configurações citadas acima, a estação elevatória de água é operada de forma manual. Um funcionário da Universidade é responsável pelo acionamento e desligamento da bomba do poço UFOP-II , assim como das bombas 1,2,3 e 4 existentes na casa de bombas. Os horários de funcionamento das bombas são feitos de acordo com o horário de trabalho do operador.

Não há comunicação entre as bombas (seus respectivos acionamentos e desligamentos) e os níveis dos reservatórios, ou seja, quando se aciona ou desliga a bomba, não se sabe se o reservatório ainda não estava completo ou se já havia transbordado.

O funcionário ao operar a bomba supõe o tempo que esta deve permanecer ligada. Este tempo pode variar de acordo com:

a) os conhecimentos e a experiência do operador;

b) o consumo já suposto para determinados dias da semana, tendo em vista que em finais de semanas, feriados e férias este é reduzido em relação aos dias de semana do período letivo;

c) informações através de outros funcionários sobre os acionamentos anteriores mais recentes, que lhe alertam se faltou ou transbordou água nos reservatórios;

d) o funcionamento ou não do restaurante universitário.

As tubulações não possuem meio de detecção de possíveis rupturas ou vazamentos, sendo estes realizados somente através da visualização física do problema ou quando se nota um comportamento anormal do sistema.

Os painéis de comando elétrico que se localizam na casa de bombas, ao contrário daquele que foi definido como um painel de comando elétrico adequado na seção 2.4, não informam sobre fatores relevantes do sistema, tais como tensão e corrente de todas as bombas, como também não detectam as falhas ou a necessidade de manutenção no sistema. Algumas bombas possuem as opções de operação manual ou automática, mas a opção automática raramente é utilizada devido a defeitos do sistema. Na figura 3.8 temos a foto dos painéis de comandos elétricos existentes na casa de bombas e na figura 3.9 a foto do interior de um dos painéis.

Figura 3.8 – Painéis de comando elétrico da casa de bombas

Figura 3.9 – Interior de um dos painéis de comando elétrico da casa de bombas

Na figura 3.10 pode-se constatar que recados estão colados nos painéis. Estes recados são para avisar as condições de operação das bombas, devido ao fato do sistema não possuir correta sinalização e deficiente controle de funcionamento. Nestes recados são sinalizadas

condições tais como, se o painel está ligado ou se uma bomba não pode ser acionada devido ao fato de um dos registros referentes a sua tubulação estar fechado. Na figura 3.10 e 3.11 temos as fotos desses recados. Uma outra foto representada pela figura 3.12 mostra a forma de sinalização encontrada nos registros. São avisos para indicar se os registros estão abertos ou fechados, informando condições essenciais antes de se operar uma bomba.

Figura 3.10 – Painel da casa de bombas em detalhe 1

Figura 3.11 - – Painel da casa de bombas em detalhe 2

Figura 3.12 – Registro da casa de bombas

Para saber em quais condições elétricas as bombas estão operando, é necessário que uma pessoa, através do uso de um multímetro, faça a aferição das medidas. Em dezembro de 2007 foram feitas estas medidas e verificou-se que as bombas estavam operando segundo suas condições nominais, mas como dito anteriormente, atualmente o único modo de verificar estes valores é através do uso de multímetro.

3.3 Desvantagens do sistema atual

3.3.1 Operação manual do controle das bombas

As bombas são controladas de forma manual, fazendo com que haja a necessidade de um funcionário ficar responsável de acionar, desligar e monitorar o funcionamento da bomba.

3.3.2 Inexistência de informações sobre os níveis dos reservatórios

Por diversas vezes o reservatório do Centro de Convergência excedeu sua capacidade e isto só pode ser notado através de uma visualização física da área alagada ao redor do reservatório. Ou seja, esta informação só consegue ser passada ao operador através de terceiros, tendo em vista que este não possui nenhuma forma de visualização dos níveis do reservatório.

Esse fato é de extrema relevância uma vez que, ao transbordar o nível do reservatório, o sistema está gerando um desperdício de água e energia.

3.3.3 Inexistência de informações sobre as condições de operação das bombas no momento em que estão em funcionamento

O fato de o quadro de comando não repassar várias informações relevantes sobre o funcionamento da bomba em operação, faz com que o sistema possa ser prejudicado por

irregularidades , sobrecargas e alterações em seu funcionamento, fazendo com que este sofra um maior desgaste e necessidade de manutenção.

3.3.4 Inexistência de informações sobre problemas na tubulação

O sistema atual também não possui sensores para ajudar na detecção de possíveis problemas na tubulação nem onde estariam estes problemas, uma vez que, se houver a necessidade de manutenção em alguma parte da tubulação, a detecção da área afetada só pode ser feita através da inspeção de forma visual de toda a tubulação até que se encontre o ponto desejado

3.3.5 3.3.5- Funcionamento das bombas em horário de pico

Por depender de operação manual, muitas vezes o acionamento das bombas se dá em função do horário de trabalho do operador e não em função de horários em que as tarifas de energia elétrica tem seus valores reduzidos.

3.3.6 Falta de segurança nas operações

O sistema atual não possui nenhum meio de alerta em casos de emergências ou panes, o que pode comprometer a segurança de seus operadores e da instalação da casa de bombas em geral.

4 SISTEMA AUTOMATIZADO

Com o avanço da tecnologia foi possível a modernização dos sistemas de abastecimento de água e de suas estações elevatórias. A automatização dessas estações é um exemplo de modernização e também otimização destes sistemas.

Segundo TSUTIYA (2006), em geral os equipamentos necessários para a automatização de estações elevatórias aumentam o custo do sistema, mas quando é feita a análise do custo-benefício ou melhor dizendo, a comparação técnico-econômica, entre um sistema automatizado ou não, na maioria das vezes a opção pela automatização é a escolhida.

Esses benefícios são dados através de redução em consumo de água e energia, otimização dos processos, aumento da segurança na operação do sistema e diminuição nos custos de pessoal.

Segundo TSUTIYA (2006), esta automatização consiste na aplicação das tecnologias de processo de abastecimento de água junto a tecnologia da informação. A tecnologia no abastecimento pode ser aplicada nas operações de captação e distribuição, por exemplo, enquanto que a tecnologia da informação possibilita realizar a supervisão e os controles necessários para manter o sistema operando da melhor forma possível.

Esse controle de sistema através da automação pode ser realizado em diversos níveis.

Quanto menor a interferência humana no controle e maior o número de informações usado pelo sistema para que este efetue sua própria tomada de decisão, mais elevado é o nível de automação.

A figura 4.1 mostra os diferentes níveis de automação e suas características e a figura 4.2 a multidisciplinaridade da automação (TSUTIYA, 2006).

Figura 4.1 - Níveis de automação.
Fonte: SABESP, 1997

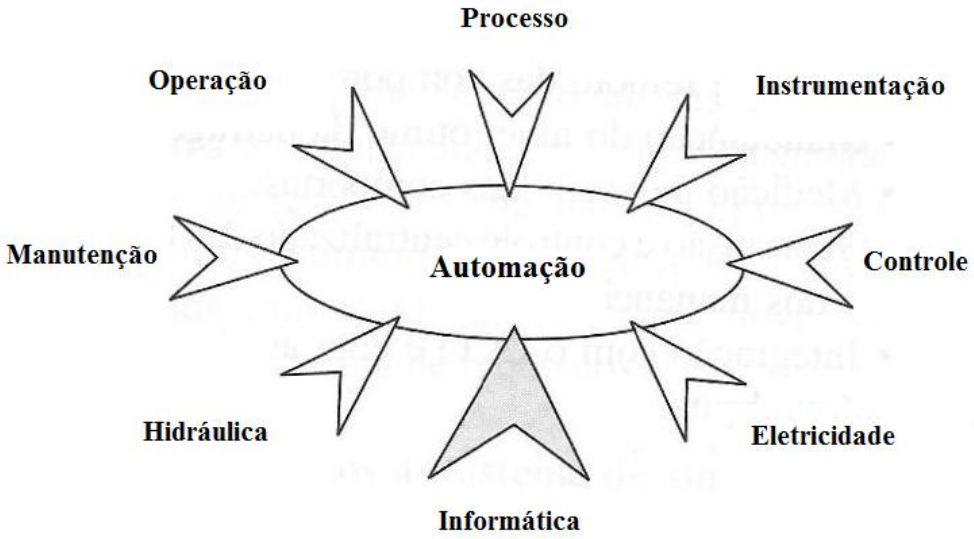

Figura 4.2 - Multidisciplinaridade da automação.
Fonte: TSUTIYA, 2006

4.1 Requisitos necessários para a automatização de sistemas

Ao se planejar automatizar um sistema, os requisitos necessários a esta automatização devem ser avaliados.

Segundo TSUTIYA (2006), esses requisitos para a automatização de um sistema de abastecimento de água são diversificados e numerosos, mas alguns dos principais requisitos são:

a) funcionais: funções de supervisão e controle do sistema, quais os elementos controlados, quais as entradas do sistema, qual o tratamento realizado e que saídas devem produzir, quais os estados internos do sistema;

b) não funcionais ou tratamento de falhas: comportamento do sistema nos casos de falhas dos seus elementos;

c) temporais: restrições temporais, funções determinísticas no tempo, tempo de validade de dados;

d) segurança: funções para evitar riscos de danos (à planta, aos operadores, aos consumidores) devido à falhas do sistema ou erros de operação;

e) interface com equipamentos: características de sinais e comandos, especificação de E/S;

f) operação: interface com a operação e manutenção, disponibilidade e formas de apresentação de informações do processo e do sistema de automação, percepção do estado do processo, telas gráficas e navegação;

Segundo TSUTIYA (2006), a automação deve ser proposta com o projeto inicial, seja este uma reforma, uma adequação ou um novo processo. Deve envolver as partes interessadas, principalmente, a operação e a manutenção. O projeto de automação deve ser sempre pensado globalmente e sua estratégia de implantação definida de acordo com a disponibilidade de recursos materiais, humanos, financeiros ou tecnológicos.

De um modo geral a automação pode ser implantada por três estratégias (TSUTIYA, 2006):

a) automação *top-down*: a automação de uma dada instalação é implantada de uma só vez configurando um único sistema totalmente integrado. È adequada na construção de novas instalações para que estas estejam tecnologicamente atualizadas;

b) automação bottom-up: a automação de uma dada instalação é implementada por partes, em etapas bem distintas;

c) abordagem mista: é desenvolvido projeto de um sistema único, mas a implementação física é realizada em etapas, conforme disponibilidade de recursos e de acordo com as prioridades.

A figura 4.3 ilustra as características das estratégias de automação:

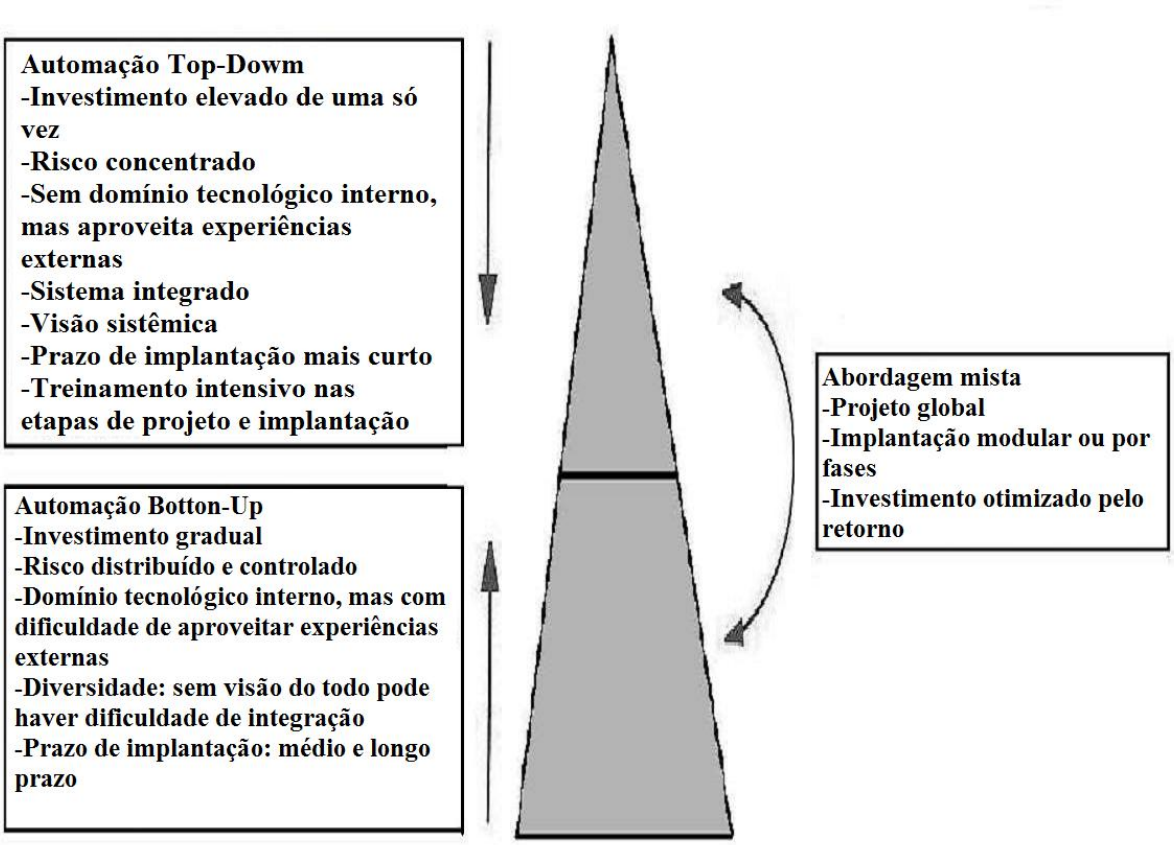
Automação Top-Dowm
-Investimento elevado de uma só vez
-Risco concentrado
-Sem domínio tecnológico interno, mas aproveita experiências externas
-Sistema integrado
-Visão sistêmica
-Prazo de implantação mais curto
-Treinamento intensivo nas etapas de projeto e implantação
Automação Botton-Up
-Investimento gradual
-Risco distribuído e controlado
-Domínio tecnológico interno, mas com dificuldade de aproveitar experiências externas
-Diversidade: sem visão do todo pode haver dificuldade de integração
-Prazo de implantação: médio e longo prazo
Abordagem mista
-Projeto global
-Implantação modular ou por fases
-Investimento otimizado pelo retorno

Figura 4.3 - Estratégias de implantação de automação.
Fonte: TSUTIYA, 2006

.

4.2 Nível

Segundo BEGA (2006), a medição de nível é definida como a determinação da posição de uma interface entre dois meios. Usualmente, um destes meios é líquido, mas eles podem ser sólidos ou a combinação de um sólido e um líquido. A interface pode ser entre um líquido e um gás ou vapor, dois líquidos, ou entre um sólido e um gás.

Existe uma grande variedade de sistemas de medição de nível, cada um com suas vantagens e limitações. A seleção do sistema de medição a ser utilizado deve considerar as características específicas da aplicação, o tipo de produto cujo nível se quer medir, a precisão desejada, custos e demais restrições existentes.

A figura 4.4 mostra resumidamente e de forma prática e condensada, as aplicações aos quais melhor se adéquam alguns instrumentos de medição de nível (BEGA, 2006).

TABELA 4.1
Seleção de Instrumentos de Nível

Item	Tipo de instrumento	Chave de nível Medição em ponto fixo					Medição contínua									
							Indicação					Transmissor/controlador				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
4.3	Flutuador	E	–	R	R	–	B	–	R	R	–	B	–	R	R	–
4.4	Deslocador	E	–	B	–	–	–	–	–	–	–	E	–	B	–	–
4.5	Pressão diferencial	E	R	R	–	–	E	R	R	–	–	E	R	R	–	–
4.6	Ultra-sônico	B	R	–	B	B	–	–	–	–	–	B	R	–	R	B
4.7	Radar	E	B	–	B	R	–	–	–	–	–	E	B	–	B	R
4.8	Capacitivo	B	B	R	–	B	R	R	R	–	R	B	B	R	–	B
4.9	Eletromecânico	E	R	R	B	B	R	R	–	R	R	B	R	–	B	B
4.10.4	Pás rotativas	–	–	–	–	B	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4.11	Pesagem	–	–	–	R	B	–	–	–	R	B	–	–	–	R	B

1 – Líquidos limpos. 2 – Líquidos com espuma. 3 – Interface. 4 — Polpas. 5 – Sólidos.
E – Excelente (sem restrições de uso). B – Bom (com restrições de uso). R – Regular (poucas aplicações).

Figura 4.4- Seleção de instrumentos de nível.
Fonte: BEGA, 2006

4.2.1 Medição de nível utilizando de chaves do tipo Flutuador (ou Bóia)

Segundo BEGA (2006), as chaves de nível do tipo flutuador são constituídas por um flutuador que monitora o nível do liquido ou a interface entre dois líquidos de densidades diferentes, e por um dispositivo que detecta a movimentação ou a passagem desse flutuador, quando o nível atinge um valor pré-determinado. A detecção da movimentação ou passagem do flutuador quando o nível atinge esse ponto pré-determinado é feita pelo acionamento, através da haste do flutuador, de uma chave, fechando ou abrindo um contato, o que permitirá acionar relés ou controladores, e comandar o acionamento de uma bomba, de uma válvula solenóide ou outros dispositivos. A figura 4.5 ilustra este tipo de chave de medição de nível.

Figura 4.5 - Chave de nível tipo Bóia.
Fonte: INOTECH, 2009

4.2.2 Medição de nível utilizando de dispositivo do tipo sensor ultrasônico

Segundo OLIVEIRA (2007), a medição pela tecnologia do ultrasom baseia-se no tempo de trânsito (*transit time*) que uma onda sonora leva para se deslocar em um meio.

Um sensor ultrasônico (transmissor/receptor) emite uma onda na freqüência do ultrasom, que se desloca pelo ambiente até atingir a superfície do material que se quer medir; ao atingir a

superfície do material, o sinal é refletido de volta ao sensor. Pelo tempo decorrido desde a emissão do sinal até o seu retorno pode-se obter a distância percorrida pelo mesmo. Na figura 4.6 tem-se a foto de sensores ultrasônicos. A figura 4.7 ilustra um sensor ultrasônico utilizado para medição de nível em um reservatório.

Figura 4.6 - Sensores Ultrasônicos.
Fonte: OLIVEIRA, 2007

Figura 4.7 - Exemplo de aplicação de sensor de nível Ultrasônico.
Fonte: OLIVEIRA, 2007

4.3 Vazão

Segundo BEGA (2006), a vazão é definida como a quantidade de fluido que passa pela seção reta de um duto, por unidade de tempo. O fluido pode ser líquido, gá sou vapor. A maioria dos instrumentos de vazão é prevista para a medição de fluidos homogêneos, numa única fase, porém existem instrumentos para medir vazão de fluidos em fases múltiplas, sob forma de suspensões coloidais, de pastas ou geléias. Geralmente, a medição é feita aproveitando o efeito de uma interação entre o fluido e o medidor.

A classificação dos medidores de vazão pode ser feita de várias maneiras. A figura 4.8 separa os medidores pelos princípios de medição, em 4 grupos.

A sequência de listagem não corresponde a qualquer critério de ordem de qualidade, de precisão ou de maior quantidade de aplicações (BEGA, 2006)

Medidores de Vazão							
Geradores de Δp		**Medidores lineares**		**Volumétricos**		**Em canais abertos**	
Placa	T	Área variável	Λ	Diafragma	G	Calhas	L
Bocal	T	Coriolis	Λ	Disco de nutação	L	Vertedores	L
Venturi	T	Eletromagnético	LC	Palheta	L		
		Térmico	Λ	Pistão oscilante	L		
Inserção		Turbina	T	Pistões recíprocos	L		
– Pitot	T	Ultra-sônico	T				
– Pitot de média	T	Vórtice	T	Rotor			
				– Lóbulo	G		
Especiais		**Medidores especiais**		– Engrenagem	L		
– Centrífugos	Λ			– Semi-imerso	G		
– Laminares	G	Força	Λ				
		Correlação	E				
		Laser	G				

Figura 4.8- Classificação de princípios de medição de vazão.
Fonte:BEGA, 2006

Os princípios de medição da tabela são compatíveis com:

- T para líquidos, gases e vapor;
- G para medição de gases, exclusivamente;
- L para medição de líquidos, exclusivamente;
- LC para medição de líquidos condutores de eletricidade, exclusivamente;
- Λ indica que não é usado para vapores, salvo exceção;
- E líquidos com sólidos em suspensão.

Segundo BEGA (2006), a cada princípio de funcionamento correspondem características que limitam as aplicações a faixas de diâmetros, de pressões, de temperaturas, de viscosidades e de teores de impureza. A escolha entre os possíveis medidores para uma determinada aplicação poderá também considerar a perda de carga que o medidor irá introduzir na

tubulação, os trechos retos disponíveis, os custos de implantação (incluindo os acessórios necessários) e os custos de manutenção.

4.3.1 Medição de vazão utilizando de dispositivo do tipo eletromagnético

Segundo NICOLAU (2009), esses medidores são os únicos que não têm obstruções de qualquer espécie no percurso do líquido. Portanto, a perda de carga é quase nula. Por este motivo constituem os elementos primários ideais para medidas de vazões de líquidos viscosos ou com sólidos em suspensão. A única condição é que o líquido tenha uma condutividade elétrica acima de um certo mínimo.

O funcionamento destes medidores baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética. Um condutor elétrico, movendo-se com a velocidade V, perpendicularmente a um campo magnético de indução B, produz uma f.e.m. O condutor em movimento é o próprio líquido o qual circula num tubo de medida e não-magnético, com o mesmo diâmetro da tubulação externa. O tubo de medida normalmente é constituído por aço inoxidável. Os materiais do forro interior e os eletrodos são escolhidos em função do fluido a medir. Há dois eletrodos implantados no tubo de medida que fazem contato com o líquido. Perpendicularmente à linha dos eletrodos, é aplicado um campo magnético produzido por duas bobinas exteriores ao tubo de medida (NICOLAU, 2009).

A figura 4.9 ilustra esse tipo de medidor:

Figura 4.9-Sensor Eletromagnético.
Fonte: NICOLAU, 2009

4.4 Transmissores eletrônicos de pressão

Segundo BEGA (2006), os transmissores eletrônicos de pressão utilizam um elemento primário mecânico elástico, combinado com um transdutor elétrico, que gera um sinal elétrico padronizado, correspondente à pressão medida.

O elemento primário mecânico elástico que pode ser diafragma, tubo Bourdon, espiral, helicoidal, fole ou combinação destes elementos, é conectado ao processo e se movimenta/deforma/desloca em função da pressão do processo aplicada sobre ele. Este movimento é enviado ao transdutor elétrico do transmissor, através de um sistema adequado, que o converte em um sinal eletrônico padronizado de saída (4 a 20 mAcc) (BEGA, 2006).

Na figura 4.10 encontra-se sensores transmissores de pressão.

Figura 4.10- Transmissores eletrônicos de pressão.
Fonte: DANFOS, 2009

4.5 Controle de válvulas por meio de válvulas motorizadas elétricas

Segundo CEPEX (2009), a válvula motorizada tem a função de abertura ou fechamento das tubulações de recalque e ou saída / entrada de reservatórios. Através de um controlador lógico pode-se programar para que elas controlem tempos de abertura, fechamento e espera para reverter, executem comando abre, comando fecha, enviem sinalização de falha, de fim de curso de aberto ou de fim de curso de fechado. Na figura 4.11 tem-se imagens de válvulas motorizadas.

As vantagens das válvulas motorizadas são (CEPEX, 2009):

a) localização remota das válvulas a manobrar;

b) dispor de informação sobre a posição das válvulas a cada momento;

c) evitar a possibilidade de descuidos de controles manuais;

d) posicionamento (modulação);

e) segurança: evita manobras indevidas.

Figura 4.11 - Válvula motorizada
Fonte: CEPEX, 2009

4.6 *4.4- Controle*

Em um controle automático os equipamentos controlam o processo sem interferência humana, mas mesmo com o controle automático devemos ter o controle manual do processo como uma opção.

A figura 4.12 representa os elementos do controle automático:

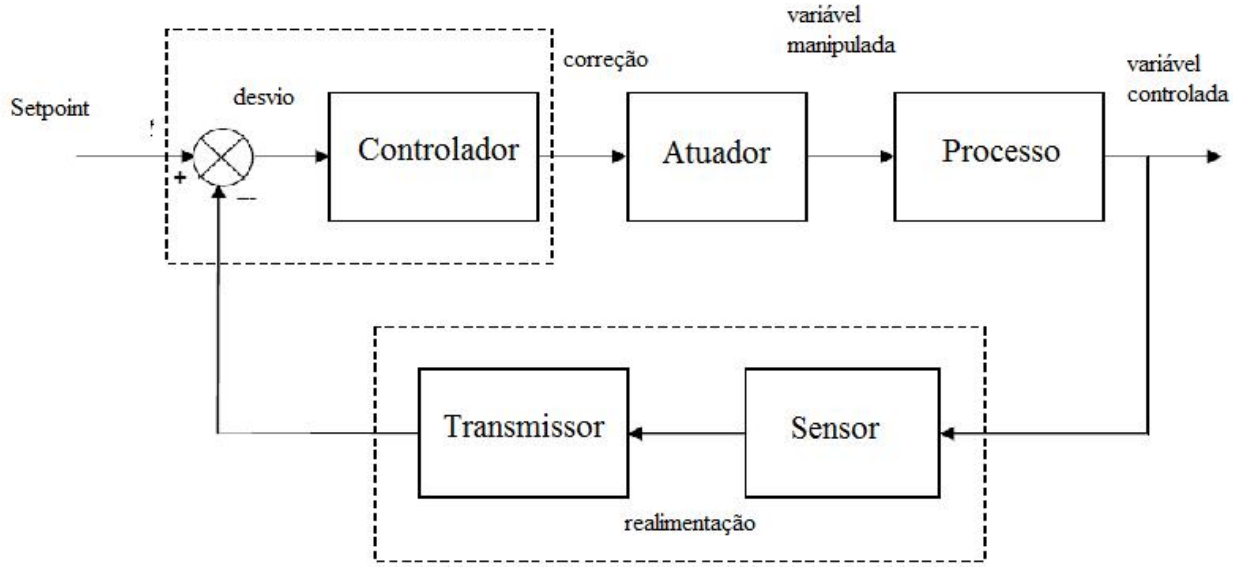

Figura 4.12 - Elementos de Controle Automático.
Fonte: Tsutiya, 2006

4.6.1 Técnicas de controle automático

4.6.1.1 Controle em malha aberta

Segundo TSUTIYA (2006), quando o controlador não precisa fazer nenhuma realimentação no processo para se garantir o resultado esperado. O controle em malha aberta pode ser feito das seguintes formas:

a) liga-desliga: quando se deseja manter a variável somente entre dois valores;

b) controle seqüencial: quando uma série de ações é executada em uma ordem pré-definida;

c) intertravamentos: para garantir que as ações de controle só ocorram em condições seguras;

d) proteção: lógicas de monitoração para executar uma ação caso certos valores sejam ultrapassados.

4.6.1.2 Controle contínuo

Segundo TSUTIYA (2006), os controles contínuos são feitos utilizando-se de realimentação. A ação exercida pelo controle altera o estado da variável controlada que é novamente medida provocando um reajuste na ação de controle. As principais tecnologias deste tipo de controle são:

a) PID: consiste em calcular um valor de atuação sobre o processo a partir das informações do valor desejado e do valor atual da variável do processo. Este valor de atuação sobre o processo é transformado em um sinal adequado ao atuador utilizado (válvula, motor, relé), e deve garantir um controle estável e preciso;

b) Fuzzy-logic: algoritmo para lidar com dados imprecisos e problemas que têm várias soluções. Embora seja implementado em computadores digitais que apenas tomam decisões do tipo sim ou não, funciona com faixa de valores, resolução de problemas de modo bastante parecido com a lógica humana. É usada na implementação de redes neurais para inteligência artificial;

c) redes neurais: o algoritmo de redes neurais podem ser utilizados nas mesmas aplicações dos algoritmos Fuzzy. A principal diferença é que ele se baseia em princípios de inteligência artificial e por esta razão pode aprender o comportamento do processo através de registros históricos.

4.6.2 Controladores Lógicos Programáveis (CLPS)

Um controlador lógico programável (CLP) é um equipamento eletrônico de tecnologia digital que utiliza memória programável para armazenamento interno de instruções.

Para exercer suas funções um CLP processa sinais de entrada provenientes de botoeiras, chaves, sensores diversos e fornece sinais de saída que atuam sobre a máquina ou processo em questão. O CLP atende às funções de seqüenciamento e intertravamento elétricos por meio de comparações, contagens, temporizações e controle PID, em conformidade com um programa específico armazenado em memória interna, programável pelo usuário para realizar funções de controle, comando e supervisão de máquinas e/ou processos, com hardware e software compatíveis com as aplicações. (TSUTIYA, 2006)

A Figura 4.13 apresenta um fluxo de dados de um CLP e um processo sob seu controle (MOON, 1994):

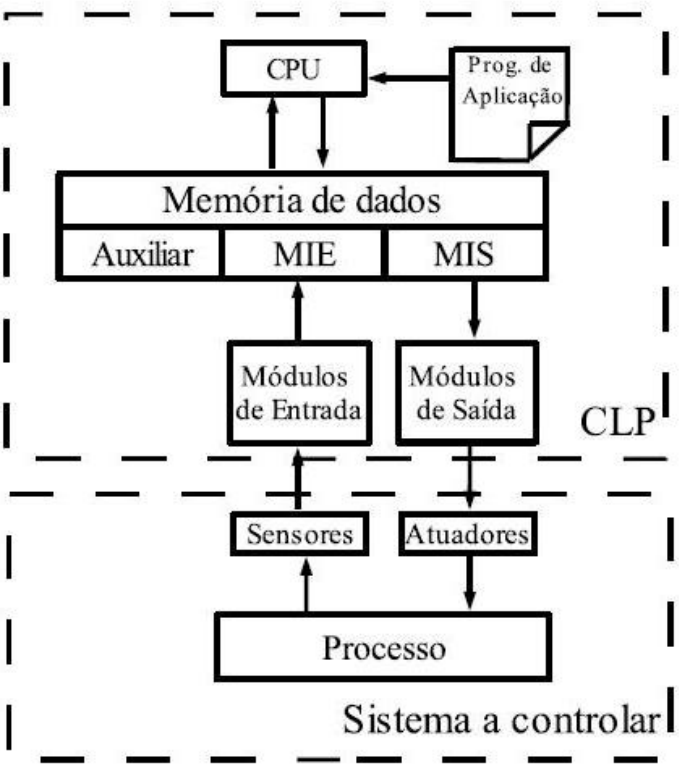

Figura 4.13- Fluxo de dados entre o CLP e um sistema a controlar.
Fonte: FURG, 2009

Ao controlar um sistema, um CLP executa repetidamente um ciclo de varredura conforme mostra a Figura 4.14:

Atualização das saídas com base na MIS
Leitura de entradas e atualização da MIE
Execução do programa de aplicação do usuário

Figura 4.14- Ciclo de varredura do plc.
Fonte: FURG, 2009

Um ciclo de varredura consiste em três etapas:

a) atualização dos dados da memória intermediária de entrada (MIE) com base nos valores lidos nos módulos de entrada;

b) execução sequencial do programa de aplicação do usuário, com alteração da memória de dados;

c) escrita dos valores da memória intermediária de saída (MIS) nos módulos de saída.

Para que o CLP seja um controlador eficaz, o tempo de varredura deve ser menor do que o tempo de duração mais curto de um sinal de entrada ou saída do processo. O tempo de varredura é geralmente na escala de milissegundos e depende da velocidade do processador,

do tamanho do programa, e do número de dispositivos de entrada e de saída (FALCIONE & KROGH, 1993).

O padrão IEC 61131-3 (IEC, 2003) define a sintaxe e a semântica de cinco linguagens de programação para CLPs. As quatro primeiras linguagens de programação são: os Diagramas de Contatos, os Diagramas de Blocos Funcionais (que são linguagens gráficas), os Textos Estruturados e as Listas de Instruções (que são linguagens textuais).

A linguagem de Diagramas de Contato (Ladder Diagram - LD) se baseia na lógica de relés e permite a descrição de funções Booleanas. Na linguagem dos Diagramas de Blocos Funcionais (DBF), a programação é feita por intermédio de blocos gráficos. A linguagem de Texto Estruturado (Structured Text - ST), próxima ao Pascal, permite sentenças condicionais, seqüenciais e laços. A Lista de Instruções (Instruction List - IL) é uma linguagem na forma de um código assembler.

A quinta linguagem da norma IEC 61131-3 é definida para estruturar a organização interna dos programas de CLP e blocos de funções. Esta linguagem gráfica, chamada de Cartas de Funções Seqüenciais (Sequential Function Charts - SFC), trata de uma extensão das máquinas de estado contendo primitivas para descrever comportamentos seqüenciais, paralelismo e sincronicidades. Permite a divisão de um programa de CLP (ou bloco de funções) em um conjunto de etapas e transições interconectadas por arcos direcionados. Cada etapa é associada a um conjunto de ações e cada transição é associada a um conjunto de condições lógicas. Baseia-se no Grafcet, norma IEC 60848 (IEC, 1999).

Um dos objetivos da IEC 61131-3 é proporcionar ao projetista de programas de CLP uma ferramenta modular e estruturante para viabilizar a reusabilidade e a qualidade dos programas, especialmente em direção à confiabilidade à segurança (LAMPÉRIÈRECOUFFIN et al., 1999). Todavia, a existência de elementos comuns para todas as linguagens de programação não é o bastante para assegurar a qualidade dos programas, e o padrão não trata de métodos eficientes de verificação.

4.7 Telemetria

Segundo TSUTIYA (2006), em sistemas de supervisão e controle, em muitos casos há a necessidade da transmissão de sinais a distância maiores, exigindo, portanto, a implantação de equipamentos confiáveis de transmissão e recepção de dados. Para isso, uma boa escolha do meio de transmissão desse sinal é imprescindível. Para tal tarefa existe o rádio, a fibra ótica, as linhas discada e privativa, o satélite, o cabo da TV por assinatura, a linha celular, ECT. Cada uma dessas alternativas possui qualidades e restrições que devem ser avaliadas no momento de optar por uma delas.

4.7.1 Meios de comunicação de dados

Serão citados alguns meios de comunicação de dados capazes de estabelecer a comunicação entre dois dispositivos com capacidade de comunicação por porta serial segundo ALFACOMP (2006):

a) linha privativa: a linha privativa de comunicação de dados é um serviço fornecido por companhias telefônicas, destinado à interligação de dois ou mais pontos, e que permite a conexão de equipamentos em velocidades que podem variar de 1,2kbps a 2Mbps;

b) linha telefônica discada: na comunicação por linha discada, os equipamentos utilizam linhas telefônicas comuns e estabelecem a ligação conforme a necessidade de envio de dados;

c) telefonia celular: o telefone celular é conectado à rede telefônica através de ondas de rádio, permitindo assim sua mobilidade, enquanto o telefone convencional faz uso de fios;

d) cabos óticos: os cabos óticos são construídos com materiais cristalinos à base de vidro, plástico e sílica. Ao invés de conduzir corrente elétrica, conduzem luz. Por suas propriedades isolantes, são imunes à interferência eletromagnética e a diferenças de potencial elétrico, que são causa de danos

por surto. Apesar do diâmetro pequeno, são capazes de trafegar grande quantidade de dados;

e) sistemas de rádio modem: a comunicação de dados por rádios modem é possível em faixas canalizadas, sendo que cada estação tem de ser licenciada pela Anatel, e também em faixas destinadas à operação de transceptores que utilizam a técnica do espalhamento espectral, ou spread spectrum. Esses últimos estão dispensados de licenciamento dentro de certas condições. Os enlaces diretos, sem repetidoras, utilizando transceptores dotados de modems, são possíveis em distâncias desde alguns poucos metros até mais de 30 km. Utilizando repetidoras, as distâncias podem ser extendidas a centenas de quilômetros. Obstruções devidas a relevo e edificações são fatores determinantes na viabilidade dos enlaces.

A figura 4.15 ilustra uma representação de sistema rádio modem.

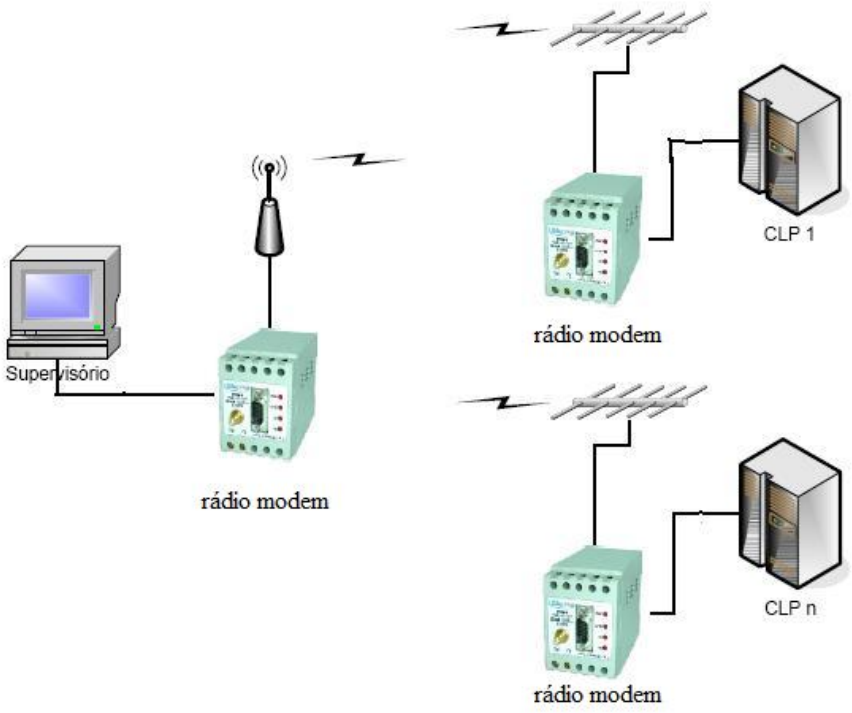

Figura 4.15 - Sistema radio modem.
Fonte: ALFACOMP, 2006

4.7.2 Sistemas de comunicação via rádio

4.7.2.1 Rádio enlace

Segundo ALFACOMP (2006), define-se como rádio enlace o conjunto de equipamentos necessários para estabelecer comunicação por rádio entre dois pontos. Os elementos básicos para a implementação de um rádio enlace são:

a) rádio transmissor;
b) linha de transmissão da estação transmissora;
c) antena transmissora;
d) meio de propagação;
e) antena receptora;
f) linha de transmissão da estação receptora;
g) rádio receptor.

A figura 4.16 ilustra esses elementos:

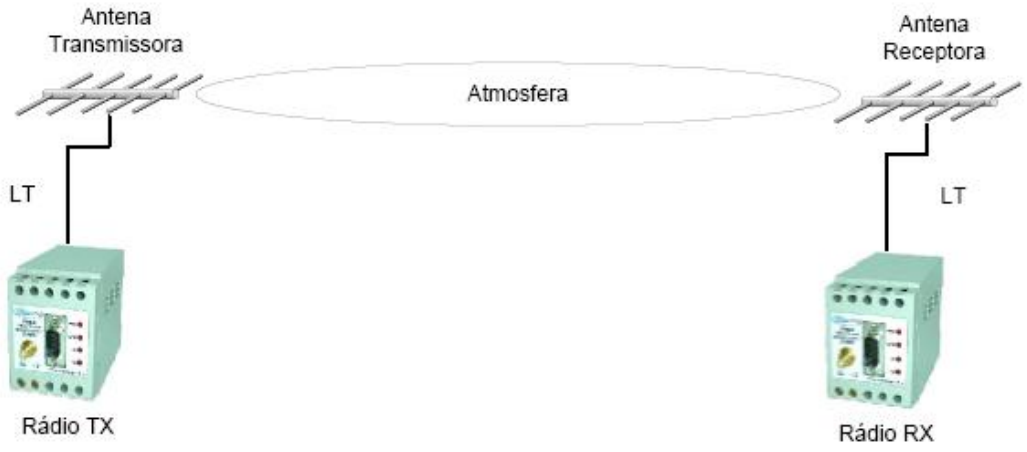

Figura 4.16- Elementos de um rádio enlace
Fonte: ALFACOMP, 2006

4.7.2.2 A Comunicação Digital e os Rádios Modem

Segundo ALFACOMP (2006), a telemetria utilizando CLPs, unidades remotas dedicadas ou qualquer outro dispositivo microprocessado pressupõe comunicação digital, ou seja, transmissão de seqüências de bytes.

À forma como essas comunicações são organizadas é dado o nome de Protocolo de Comunicação. São muitos os protocolos de comunicação e o mais utilizado em telemetria via rádio é o MODBUS RTU, criado pela empresa MODICON.

Os equipamentos capazes de transmitir informações digitais via rádio são chamados Rádios Modem (ALFACOMP, 2006).

4.7.2.3 Mecanismos de controle de acesso

Quando o meio físico permite o acesso multiponto, é necessário estabelecer regras para a sua utilização. Se duas ou mais estações transmitirem simultaneamente haverá mistura de sinais provenientes de cada estação e a rede não consegue separar novamente estas informações. Este fenômeno é chamado de colisão. Por isso é necessário garantir que somente uma estação transmita a cada momento. Existem diversas maneiras de evitar colisões que são normalmente chamadas de mecanismos de controle de acesso ao meio, sendo que entre os vários mecanismos existentes, os principais pertencem a uma das seguintes categorias (TSUTIYA, 2006):

a) mestre-escravo: existe um elemento denominado mestre que gerencia toda comunicação. Esta só ocorre se o mestre tomar a iniciativa, determinando qual nó deve transmitir e quando. Quando o escravo recebe uma solicitação responde enviando o dado solicitado. Quando recebe um comando executa a operação indicada e envia de volta ao mestre um sinal de reconhecimento (TSUTIYA, 2006);

b) token-passing: neste mecanismo a informação é passada através da rede, de um nó para outro. Um grupo de mensagens é finalizado por uma mensagem especial denominada Token, indicando assim o seu término. Cada nó remove a mensagem dirigida ao mesmo, adicionando novas informações a serem transmitidas (TSUTIYA, 2006);

c) CSMA-CD (*Carrier Sense Multiple Access – Collision Detection* - Acesso múltiplo por detecção de portadora – detecção de colisão): cada um dos nós fica monitorando o meio de transmissão e só transmite quando o meio esta desocupado. Os nós monitoram as próprias transmissões e cessam de transmitir no instante em que detectam a presença de outras transmissões. Neste caso interpreta-se que ocorreu uma colisão (TSUTIYA, 2006);

d) CSMA-BA (*Carrier Sense Multiple Access – Bitwise* Arbitration - Acesso múltiplo por detecção de portadora – arbitragem de bits): semelhante ao CSMA-CD, no entanto, quando ocorre uma colisão a estação mais prioritária continua a transmissão e a outra aguarda. Quando termina a transmissão, a estação que anteriormente colidira, inicia imediatamente a transmissão (TSUTIYA, 2006);

e) Produtor/Consumidor: uma das estações da rede é definida como escalonador e sue papel é sincronizar a transmissão de dados. Em cada ciclo o escalonador solicita a cada uma das estações que ocupe o meio de transmissão por um tempo determinado. A estação que possui o controle do meio (produtor) envia mensagens a todas as estações da rede. As estações a que interessam as comunicações (consumidores) aproveitam as mensagens e as demais a ignoram. Ao fim da comunicação a estação informa ao escalonador que solicita a outra estação que ocupe o meio (TSUTIYA, 2006).

4.7.3 Protocolos de Comunicação

Segundo TSUTIYA (2006), podemos definir protocolo de comunicação como sendo um conjunto de convenções que rege o tratamento e a formatação de dados em um sistema de comunicação.

Alguns dos protocolos mais utilizados para estabelecer comunicação entre dispositivos de automação industrial são:

a) CAN: rede desenvolvida pela Bosch para interligar equipamentos inteligentes em aplicações automotivas. Apenas a camada de enlace é padronizada e se baseia no mecanismo produtor/consumidor;

b) DeviceNet: rede de baixa, destinada à comunicação ebtre dispositivos discretos e CLPs ou computadores. O controle de acesso ao meio é baseado no mecanismo produtor/consumidor mas podem também ser utilizados os mecanismos mestre/escravo, token-passing ou mistos;

c) Interbus: suportado por mais de 300 fabricantes, consiste de interfaces controladoras para instalar em PC ou clps que podem se comunicar com uma grande variedade de interfaces de campo;

d) Modbus: criado pela Modicon e liberado para utilização pública, se transformou no protocolo de comunicação mais amplamente difundido entre os fabricantes de dispositivos de controle industrial;

e) Profibus: possui mecanismo de acesso ao meio misto: para comunicação entre estações de controle o acesso é por Token-Passing. Entre as estações de controle e dispositivos e instrumentos utiliza-se mecanismo mestre/escravo;

f) TCP/IP - Transfer Control Protocol / Internet Protocol: o conjunto de protocolos TCP/IP foi desenvolvido para implementar as camadas de enlace e rede, para implementar redes locais, e posteriormente, tornou-se a base para o funcionamento da internet.

4.7.3.1 Protocolo Modbus

Segundo ALFACOMP (2006), o Modbus é um dos protocolos mais antigos utilizados em redes de controladores lógicos programáveis (PLC) para a aquisição de sinais de instrumentos e para comandar atuadores. A Modicon publicou as especificações e normas que definem o Modbus, tornando-as de domínio público. Por essa razão, é utilizado em milhares de equipamentos existentes e é uma das soluções de rede mais baratas a serem empregadas em automação industrial.

Características Técnicas: O modbus utiliza o RS-232, RS-485, Ethernet ou rádio como meio de comunicação. O mecanismo de controle de acesso é mestre-escravo. A estação mestre (geralmente um PLC) envia mensagens solicitando dos escravos que enviem os dados lidos pela instrumentação ou envia sinais a serem escritos nas saídas para o controle dos atuadores. O protocolo possui comandos para envio de dados discretos (entradas e saídas digitais) ou numéricos (entradas e saídas analógicas). (ALFACOMP, 2006)

A figura 4.17 mostra um exemplo de rede Modbus com um mestre (PLC) e três escravos (módulos de entradas e saídas, ou simplesmente E/S).

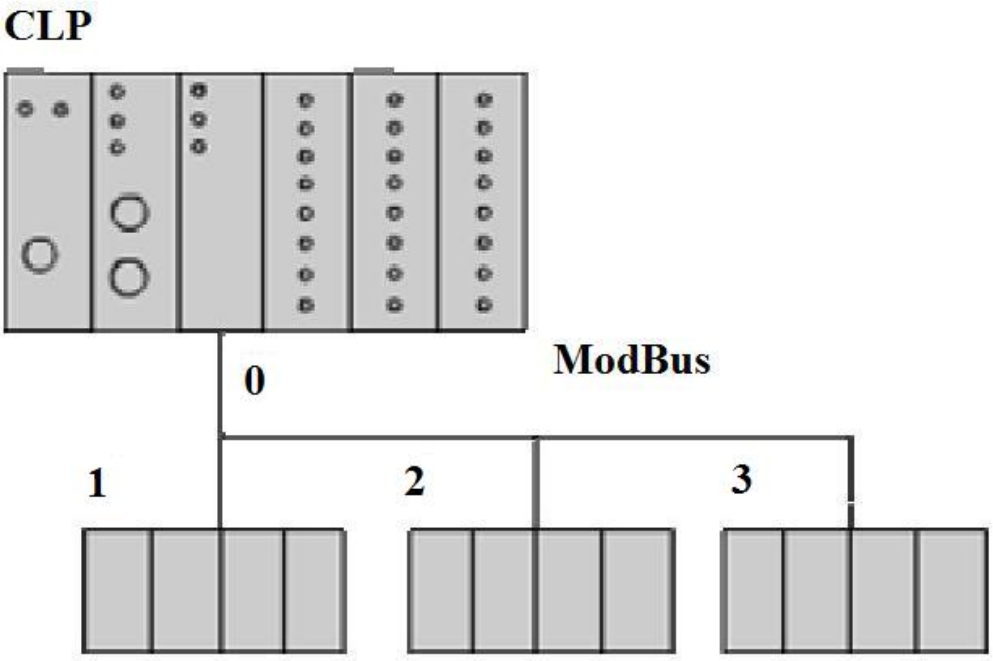

Figura 4.17- Exemplo de rede Modbus com um mestre CLP e três escravos

Fonte: ALFACOMP, 2006

Em cada ciclo de comunicação, o PLC lê e escreve valores em cada um dos escravos. Como o sistema de controle de acesso é do tipo mestre-escravo, nenhum dos módulos escravos inicia comunicação a não ser para responder às solicitações do mestre. Basicamente, uma comunicação em Modbus obedece a um frame que contém o endereço do escravo, um comando a ser executado, uma quantidade variável de dados complementares e uma verificação de consistência de dados (ALFACOMP, 2006)

Para alguns comandos de diagnóstico, tais como reinício de comunicação, reset do módulo ou sincronização de relógio, podem ser utilizadas comunicações do tipo broadcast, ou seja, destinada a todos os escravos simultaneamente.

- **RS485 –** Alguns modelos de rádio modem são dotados da interface RS485. Esse padrão de interface elétrica permite até 32 dispositivos conectados simultaneamente, sendo que apenas um assume o barramento por vez. Os comprimentos de cabos podem chegar a 1500 metros e a velocidade máxima de 115 kbps.

Esse padrão de interface tem vantagens como a imunidade a ruído elétrico superior quando comparado ao padrão RS232. (ALFACOMP, 2006)

4.7.4 UTR (Unidade Terminal Remota)

A UTR é um dispositivo que estabelece uma comunicação entre um local remoto e os instrumentos e dispositivos controlados de campo.

A UTR recebe os sinais elétricos, tais como, entradas de contato de relés ou de sensores dos dispositivos de campo, decodifica esses sinais e transmite esses dados decodificados a uma localização remota. (TSUTIYA, 2006). A UTR também recebe comandos de localizações remotas e disponibiliza a saída elétrica, sendo capaz de realizar acionamentos de cargas a distância, tais como motores, válvulas, conjunto moto-bomba, realizar controle de nível em reservatórios, medição de grandezas analógicas, dentre outras aplicações, com alta confiabilidade. Algumas UTRs podem incorporar em um único equipamento, transceptor de rádio, interface de processamento de comunicação e interface de potência.

Suas funções e características variam de acordo com modelos e fabricantes. Características que se podem ser encontradas em UTRs segundo TSUTIYA (2006):

a) permitir ampla conectividade com diversos protocolos de comunicação;
b) programável, permite execução de lógica de controle na própria UTR, controle ON-OFF, PID, set-points via rede, dentre outros;
c) configuração através de software do fabricante;
d) encriptação dos dados, para aumentar a segurança e integridade das comunicações;

A figura 4.18 ilustra uma estação remota típica:

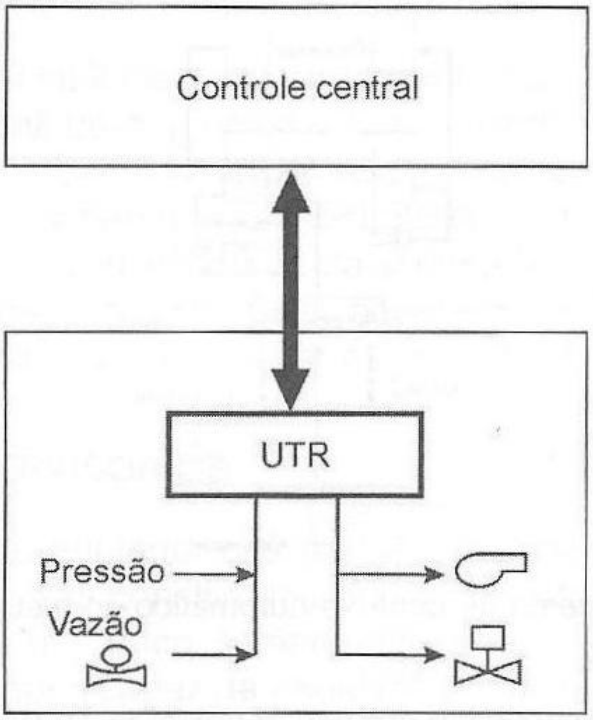

Figura 4.18 - Estação remota típica.
Fonte: TSUTIYA, 2006.

4.8 *Sistema Supervisório*

Como o próprio nome representa, sistemas supervisórios são softwares utilizados basicamente para a supervisão de processos industriais.

O controle e aquisição de dados desses processos são realizados pelos CLP's.

Segundo TSUTIYA (2006), os sistemas supervisórios são instalados em microcomputadores conectados a uma rede de comunicação de um ou mais CLP's ligados á um equipamento, uma máquina ou até mesmo a um processo completo de fabricação.

São constituídos por bibliotecas de símbolos de diversos processos (petroqu[imico, siderúrgico, saneamento, entre outros). Através de telas animadas (figura 4.19) o operador é capaz de visualizar os valores das variáveis medidas e, dependendo do caso, mudar seus "setpoints". Os dados coletados podem ser armazenados em um banco de dados, gerando

gráficos históricos, projetando tendências ou mesmo resultando cálculos estatísticos e alarmes. (TSUTIYA, 2006, p.164)

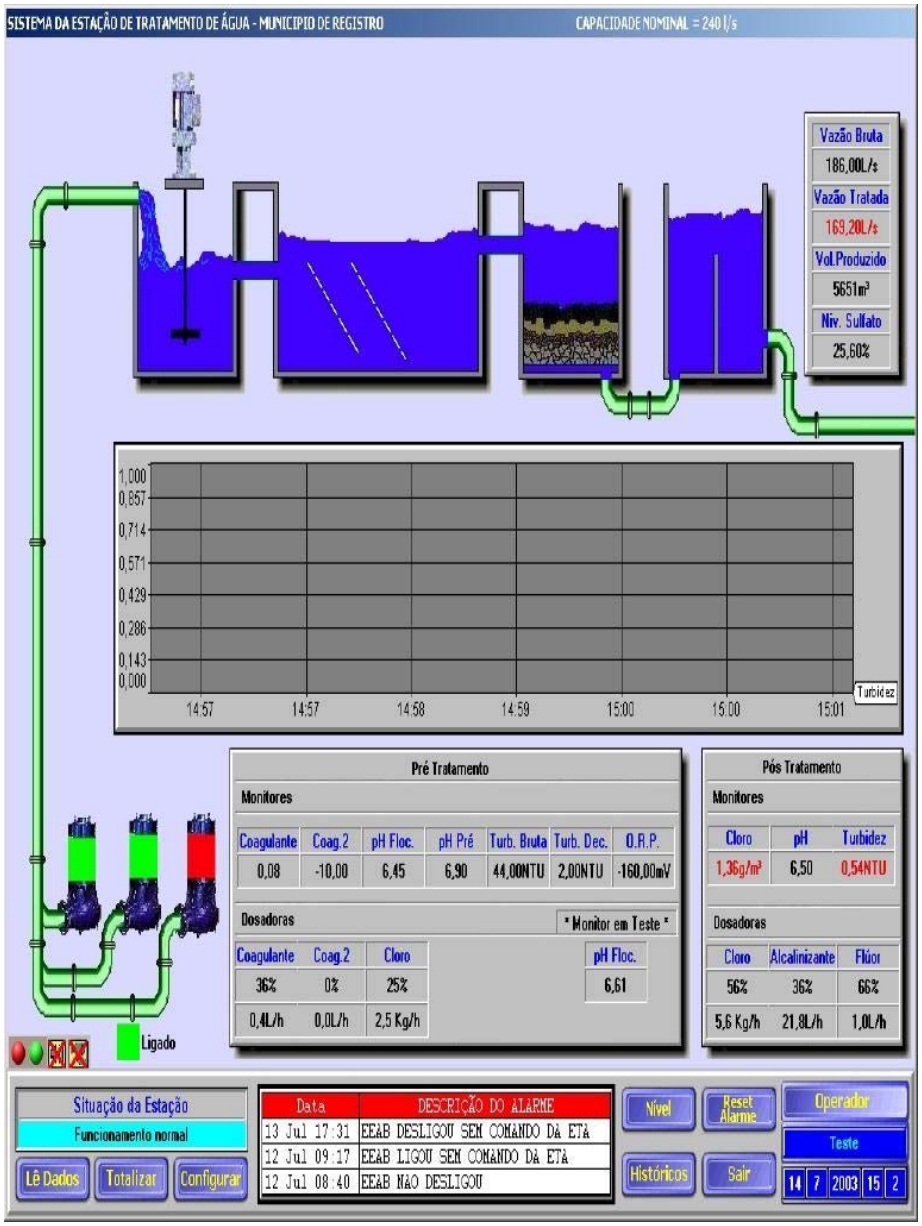

Figura 4.19 - Tela do supervisório do aqualog.
Fonte: TSUTIYA, 2006.

Esses supervisórios podem ser instalados remotamente conectando-se ao processo via WEB, telefone (celular ou satélite) ou rádio.

A figura 4.20 apresenta um sistema automático de controle onde estão presentes o supervisório e os equipamentos periféricos.

Figura 4.20 - Estrutura de sistema de controle automático com supervisório.
Fonte: DEGRÉMONT, 1991

5 PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA

O uso da automação em sistemas de controle, em vários estágios da distribuição de água, permite uma redução de custos de operação e das perdas. (NASCIMENTO, 2005). A automatização pode ser considerada uma necessidade para otimização da confiabilidade e da relação custo beneficio na maioria dos processos.

A primeira condição para que uma estação possa ser automatizada, é que esteja bem dimensionada hidraulicamente. Segundo BRANDÃO JÚNIOR (2004), se estiver dimensionada corretamente, a automatização de sistemas de abastecimento de água, quando também feita de forma correta permiti:

a) melhorar o gerenciamento dos sistemas com a centralização do controle;
b) otimizar a operação e com isso obter redução de custos;
c) possibilitar melhor diagnóstico dos sistemas em função dos registros históricos, de dados e ocorrências operacionais;
d) agilizar a correção de problemas devido a capacidade de atuar nos dispositivos de controle do sistema em tempo real;
e) padronizar os procedimentos e propiciar maior confiabilidade na obtenção dos dados operacionais.

Devido aos inúmeros equipamentos, técnicas e tecnologias existentes em instrumentação para automatização, um sistema pode ser automatizado escolhendo-se alguns dos recursos existentes no mercado. Essa escolha pode ser feita de acordo com os critérios pré-estabelecidos para o projeto, que podem ser tecnologia, custo, praticidade, segurança das informações, etc.

Uma estação elevatória de água possui diversas opções para sua automatização. Através da análise do funcionamento e desvantagens do sistema atual, do estudo sobre o modo de operação de alguns instrumentos e de pesquisas sobre como outras estações elevatórias de

água foram automatizadas e quais foram os instrumentos escolhidos, foi possível criar uma proposta de automatização para este sistema.

Na proposta de automatização da estação elevatória de água do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP sugere-se uma automatização por abordagem mista, ou seja, a proposta é de uma automatização única, mas que pode ter sua implementação física realizada em etapas, de acordo com as prioridades e disponibilidade de recursos.

5.1 Instrumentos, unidades terminais remotas, operações, meios de comunicação, protocolos e características de comando e supervisão do sistema automatizado

Na presente proposta o sistema de automação é composto por um conjunto de equipamentos que incluem sensores, software supervisório, computador, soft starter, controlador lógico programável, UTRs (Unidades Terminais Remotas), rádios modem, antenas e periféricos, que possibilitarão a operação do sistema de forma automatizada e desassistida localmente.

Estes equipamentos serão instalados em pontos estratégicos do sistema de abastecimento, de modo que se efetue o monitoramento e controle remotos:

a) das operações da estação elevatória de água;

b) dos níveis dos reservatórios;

c) das medições de vazão e pressão nas principais redes;

d) das válvulas do sistema.

5.1.1 Soft starter

Atualmente os motores das bombas são acionados em estrela-triângulo. A instalação de soft starter permitirá ao sistema controlar a tensão de partida de motores de corrente alternada em sistemas trifásicos, fazendo com que estes tenham uma partida suave. Deste modo evitam-se quedas de tensão elétrica bruscas na rede de alimentação. A UFOP já possui um *soft starter* novo, mas esse não se encontra instalado ao sistema. Na figura 5.1 tem-se a foto do *soft starter* e na figura 5.2 os detalhes de seus comandos.

Figura 5.1 – *Soft Starter* da casa de bombas

Figura 5.2 – Comandos do *Soft Starter* da casa de bombas

As vantagens na diminuição dos valores de corrente ao se acionar um motor através de um *soft starter* podem ser verificadas na figura 5.3 que compara os métodos de partida de motores elétricos.

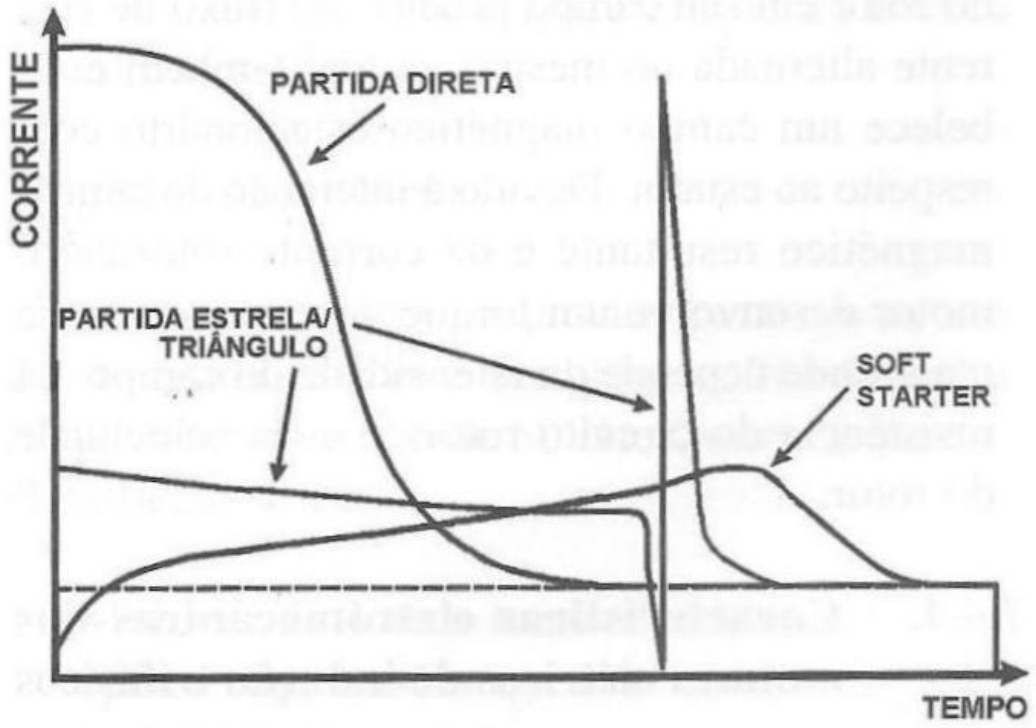

Figura 5.3 - Comparação entre métodos de partida de motores elétricos.
Fonte: WEG, 2002**.**

Segundo TSUTIYA (2006), a partida e parada através de dispositivo de acionamento eletrônico como o *soft starter* possuem também a vantagem de dispensar a utilização de dispositivos eletromecânicos móveis, presentes como função de proteção em outros modos de partida existente. Isso pode ser considerado uma vantagem, tendo em vista que tais dispositivos móveis são mais sujeitos à manutenção.

Com a utilização do *soft starter*, as proteções elétricas da bomba (sobrecorrente, sobretensão, entre outros) devem ser incorporadas ao mesmo, de modo que a ocorrência de um ou mais sinais de proteção, incluindo o de defeito do sistema supervisório, deverá desabilitar a operação dos conjuntos motor-bomba (TSUTIYA, 2006)

5.1.2 Sensores de nível do tipo ultra-sônico

Os sensores de nível ultra-sônicos enviarão sinais analógicos dos níveis dos reservatórios para o sistema de controle. Os sinais transmitidos serão da ordem de 4 a 20mA e corresponderão a porcentagem do nível do reservatório. A figura 5.4 ilustra a relação entre o nível do reservatório em % e o sinal analógico de saída em mA.

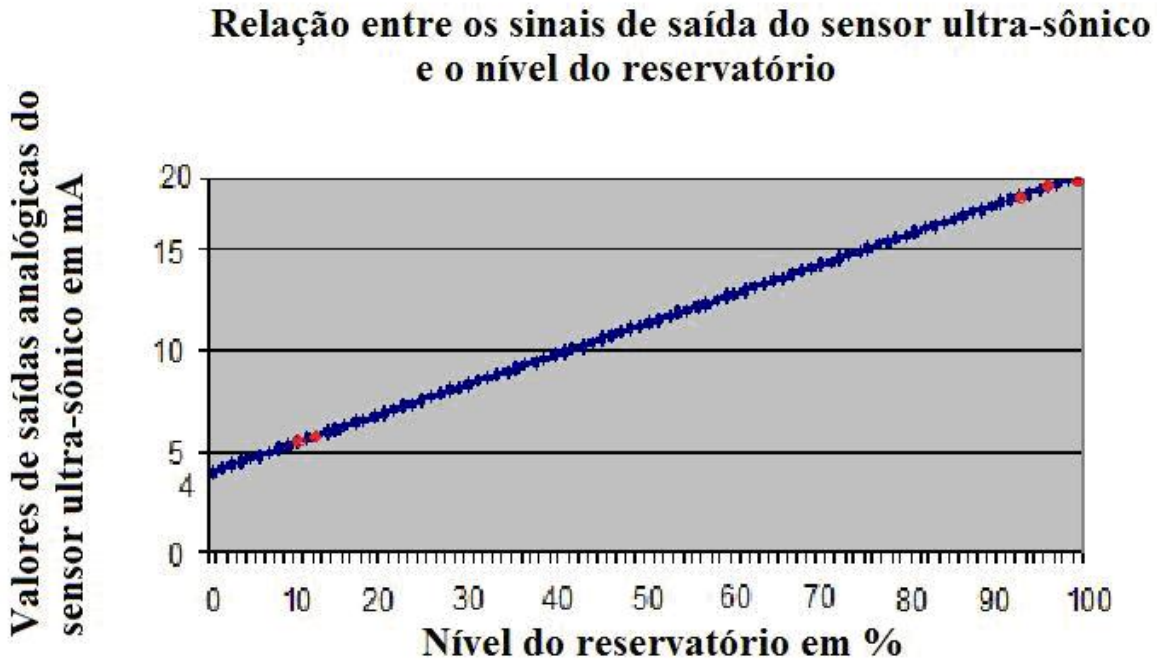

Figura 5.4 – Relação entre os sinais de saída do sensor ultrasônico e o nível do reservatório

5.1.3 Chaves de nível tipo bóia

As chaves de nível tipo bóia enviarão sinais discretos ao controlador, elas serão acionadas em caso de falha do sinal analógico obtido pelo sensor ultra-sônico.

5.1.4 Válvulas motorizadas

Válvulas motorizadas serão responsáveis por abrir e fechar a tubulação de acordo com o controle estabelecido no CLP. Para evitar golpes hidráulicos na bomba e tubulação o ligamento do conjunto motor-bomba deverá iniciar com a válvula fechada, (caso esteja aberta deverá fechar antes de ligar o conjunto motor-bomba), ligando em seguida o conjunto motor-bomba. Após se ter ligado o conjunto, a válvula deverá abrir respeitando os limites de corrente do motor. Para desligamento deverá ser seguido o caminho inverso, ou seja, fechamento da válvula e desligamento do conjunto motor-bomba.

No painel de comando também existirão comutadores para que se tenha a opção de fazer a abertura ou fechamento das válvulas de forma manual.

Será enviado um sinal de falha quando houver o término do tempo de abertura ou fechamento da válvula sem que haja ocorrido o ligamento do respectivo fim de curso.

5.1.5 Transdutores de pressão

Os transdutores de pressão enviarão sinais analógicos sobre as condições de pressão na rede.

É fundamental que os transdutores utilizados, sejam totalmente confiáveis, que as leituras efetuadas durante o tratamento sejam exatas e que os sinais elétricos (4 a 20mA) de saída sejam rigorosamente correspondentes às leituras durante o processo.

5.1.6 CLP

O CLP será o mestre do controle de acesso ao meio. Ele fará o controle e aquisição de dados do processo e se comunicará com o centro de controle operacional para que o software possa realizar a supervisão do sistema. O CLP determinará qual UTR deverá transmitir e em que momento.

O número de entradas analógicas que o controlador programável precisará ter para atender às necessidades do processo de tratamento será estabelecido através dos tipos e quantidades de

transdutores definidos. É necessário também estabelecer as informações lógicas, para os intertravamentos através do software e acionamentos lógicos a serem condicionados.

Para se dimensionar o CLP, aconselha-se que seja feito um diagnóstico preciso das lógicas de controle, monitoramento e proteção do sistema. Depois disso tem-se uma referência do número de cartões de entrada e saída para tratar sinais de 4 a 20 mA e de sinais on-off. O diagnóstico quando feito de forma imprecisa pode deixar de considerar pontos que deveriam ser controlados e monitorados, causando erros que acarretarão em um incorreto funcionamento da instalação do sistema de bombeamento de água.

5.1.7 Rádio-modem

Haverá um rádio-modem mestre redundante com antena omnidirecional para espalhamento espectral que oferecerá segurança na recepção e transmissão de dados. Ele irá operar dentro de uma freqüência livre que não interfere em nenhum outro tipo de sistema de radiocomunicação e será instalado na casa de bombas.

Cada unidade do sistema será dotada de uma UTR com transceptor de rádio que irá ter a função de escravo e irá se comunicar com o CLP mestre da casa de bombas.

5.1.8 Protocolo de comunicação

O protocolo de comunicação que irá reger o tratamento e formatação dos dados no sistema de comunicação entre os dispositivos será o modbus. O mecanismo de controle de acesso é mestre-escravo. Este protocolo possui comandos para envio de dados discretos (entradas e saídas digitais) ou numéricos (entradas e saídas analógicas).

5.1.9 Interface Elétrica

A comunicação entre uma UTR e seus dispositivos de campo, ou entre o PLC mestre da casa de bombas e sua UTR e software supervisório, será feita ultilizando-se como interface elétrica o RS485.

5.1.10 UTR

As unidades terminais remotas serão responsáveis pela lógica de controle e comando das unidades onde estão localizadas, e terão como função a proteção de pessoal e equipamentos, mantendo estáveis as pressões e vazões nas redes e adutoras, garantindo uma melhor distribuição de água pelo sistema, bem como a maior proteção contra rompimentos dessa linha e a proteção contra sobrecarga dos conjuntos motor-bomba através da monitoração de suas grandezas elétricas como, potência, corrente e tensão, que permite avaliar toda a eficiência desses equipamentos, aumentando a vida útil dos mesmos.

Segundo TSUTIYA (2006) suas principais funções deverão ser:

a) monitorar continuamente os status das válvulas, sensores, bombas e outros dispositivos pertencentes a unidade de abastecimento de água onde estão localizadas;

b) monitorar continuamente as entradas analógicas da unidade de abastecimento de água onde estão localizadas;

c) monitorar continuamente o circuito de comunicação do sistema e :

   - responder às requisições de dados da unidade mestre localizada na casa de bombas,
   - executar comandos recebidos da unidade mestre;

d) Quando responder as requisições de dados:

   - verificar a validade da requisição;
   - reconhecer qualquer mudança de status;
   - converter sinais analógicos em digitais;
   - codificar a mensagem para a unidade mestre;
   - transmitir mensagem para a unidade mestre.

e) Quando responder aos comandos,

   - verificar a validade do comando,

- retornar a unidade mestre a ação de comando que deve ser executada;
- executar o comando quando for recebida a verificação da unidade mestre;
- informar a execução de comando para a unidade mestre.

No controle contínuo, um “setpoint” será enviado a UTR que, assim, controlará bombas ou válvulas para manter o valor estabelecido. Tal controle será executado até que se estabeleça um novo “setpoint”. Na perda de comunicação, a UTR será programada para continuar operando com o último valor de referência, ou mudar para um “setpoint” seguro.

O CLP da casa de bombas é o mestre na comunicação e está diretamente conectado ao software supervisório . As UTRs dos reservatórios se comunicarão com o CLP casa de bombas, que é o responsável principal pela operação da estação elevatória. Uma UTR também poderá se comunicar com outras UTRs em situações de anomalias do sistema ou se solicitado por operador. Com esse sistema, a falha de comunicação com a unidade mestre, não impede as UTRs do sistema de continuar a operar as bombas dentro dos limites de controle do reservatório.

5.1.11 Centro de Controle Operacional

O centro de controle operacional será o lugar responsável pela supervisão do sistema de abastecimento. Nele estará o computador com o software supervisório.

As informações do sistema serão enviadas ao centro de controle operacional, onde o software realizará a supervisão e aquisição de dados, e um banco de dados irá permitir a posterior utilização das informações. O software supervisório oferecerá ao usuário, em tempo real, a visualização do processo e dos valores das variáveis, através de telas de representação gráfica das operações e das aquisições de dados. Ele deverá possibilitar ao operador interferir no sistema e mudar set points caso seja necessário. Os dados do sistema deverão ser armazenados e gerar relatórios e gráficos quando solicitados. O software terá autonomia para comandar o procedimento de acordo com a lógica e sequência de operação estabelecida, enviando assim os comandos ao CLP da casa de bombas.

Se ocorrer algum problema no sistema, o centro de controle operacional emitirá um sinal visual e sonoro. O operador poderá então operá-lo manualmente pelo computador ou em casos extremos, se deslocar até onde está o problema. Desse ponto em diante a operação passa a ser manual realmente.

A figura 5.5 ilustra a configuração do sistema proposto com suas respectivas UTRs e sensores:

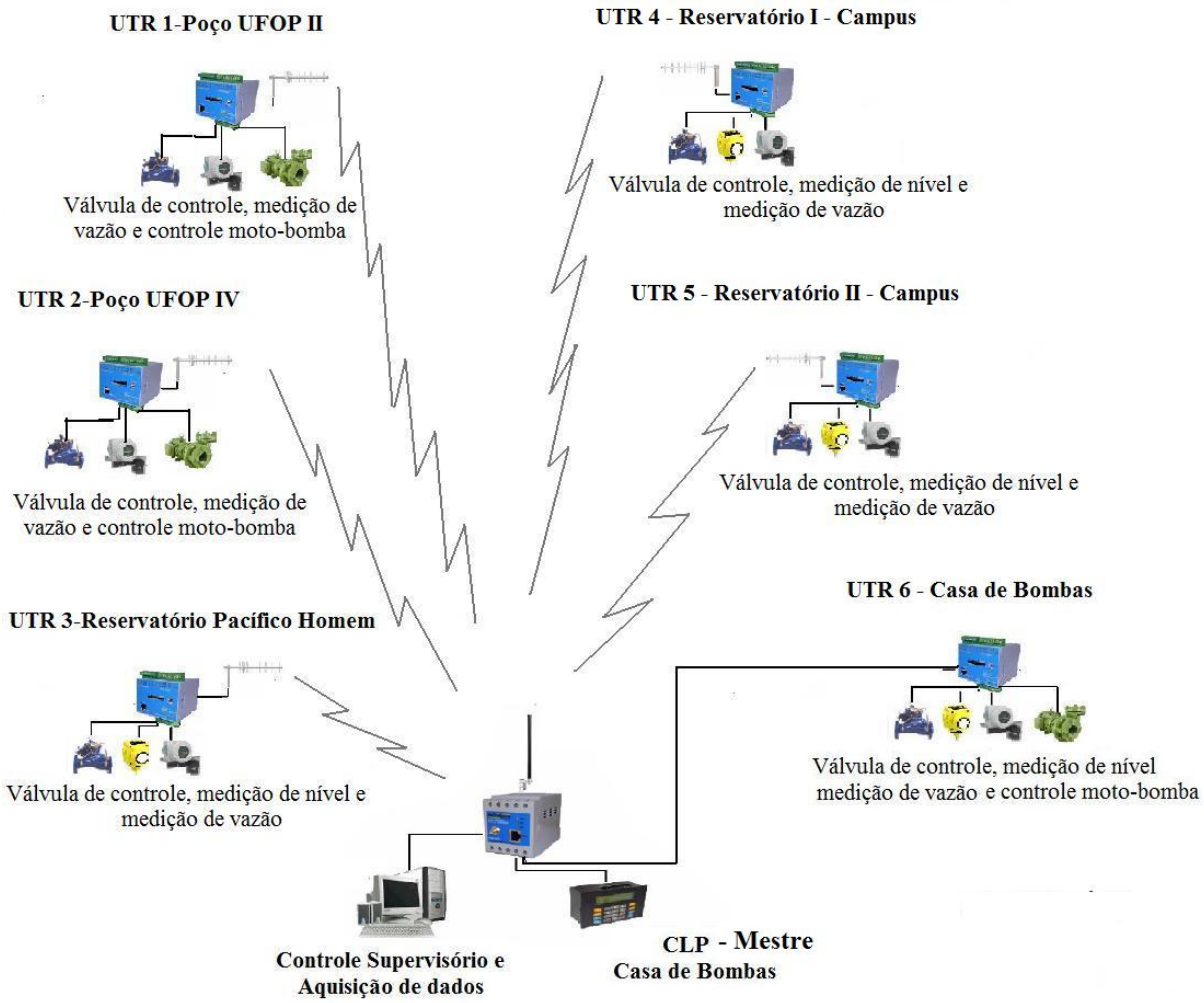
UTR 1-Poço UFOP II
Válvula de controle, medição de vazão e controle moto-bomba
UTR 4 - Reservatório I - Campus
Válvula de controle, medição de nível e medição de vazão
UTR 2-Poço UFOP IV
Válvula de controle, medição de vazão e controle moto-bomba
UTR 5 - Reservatório II - Campus
Válvula de controle, medição de nível e medição de vazão
UTR 3-Reservatório Pacífico Homem
Válvula de controle, medição de nível e medição de vazão
UTR 6 - Casa de Bombas
Válvula de controle, medição de nível medição de vazão e controle moto-bomba
Controle Supervisório e Aquisição de dados
CLP - Mestre
Casa de Bombas

Figura 5.5 - Configuração do sistema proposto com suas respectivas UTRs

5.2 Instrumentação e modo de operação e controle da casa de bombas

Na casa de bombas será realizada uma instrumentação e programação de controle de operação para garantir a otimização e segurança do sistema, sendo capaz também de proporcionar uma

manutenção preventiva dos equipamentos. Proteções hidráulicas e sistêmicas deverão sempre proteger o conjunto motor-bomba.

Na casa de bombas haverá uma UTR que será responsável pela transmissão e recepção de comandos e dados enviados pelo CLP.

Sensores irão monitorar e informar condições de operação das bombas. Tais como:

a) corrente;
b) tensão;
c) potência ;
d) temperatura.

Os parâmetros de tensão, corrente e temperatura poderão solicitar o desligamento dos conjuntos motor- bomba.

A ocorrência de sinais de sobretemperatura nos mancais e nos enrolamentos do motor deverá bloquear o funcionamento do conjunto motor-bomba.

A figura 5.6 representa um esquema de controle do sistema pelo monitoramento das características de operação das bombas:

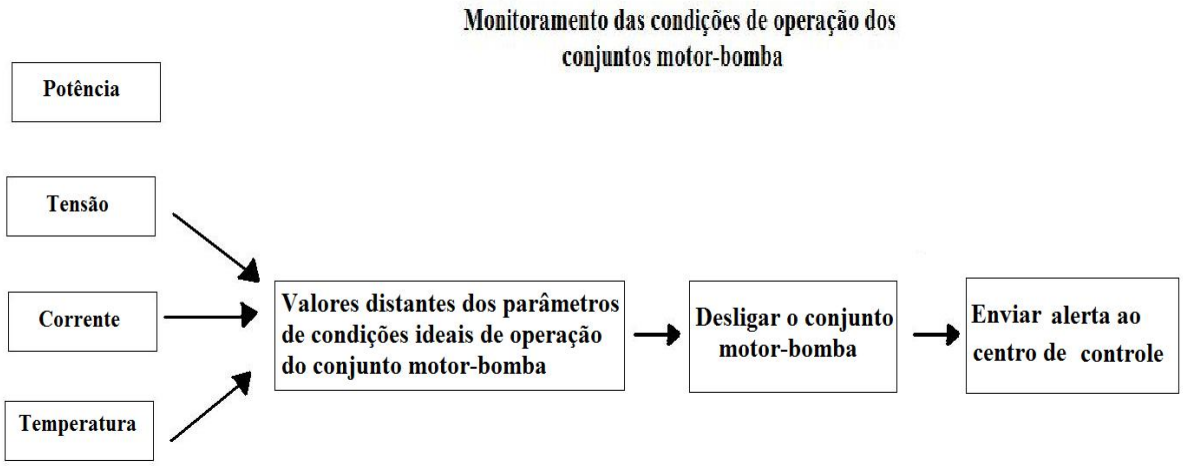
Monitoramento das condições de operação dos conjuntos motor-bomba
Potência
Tensão
Corrente
Temperatura
Valores distantes dos parâmetros de condições ideais de operação do conjunto motor-bomba
Desligar o conjunto motor-bomba
Enviar alerta ao centro de controle

Figura 5.6 - Monitoramento das condições de operação dos conjuntos motor-bomba

Nas tubulações de sucção e recalque, sensores de vazão eletromagnéticos e transdutores de pressão indicarão as condições as quais as tubulações estão sendo submetidas.

Os parâmetros limites de pressão e vazão poderão solicitar a partida ou parada das bombas.

Deverão existir valores máximos e mínimos parametrizáveis para monitoramento de vazão de recalque e pressão diferencial nas bombas, visando proteção dos equipamentos.

Se a relação entre pressão e vazão afastar-se muito do normal previamente padronizado, as bombas devem ser desligadas e um alarme de possível ruptura na linha de recalque será enviado.

A pressão de recalque deverá ter dois limiares superiores ajustáveis sendo o primeiro para alertar o operador, e não havendo resposta em um determinado tempo de espera pré definido, o segundo alerta deve desarmar o conjunto motor-bomba. Ela também deve ser supervisionada junto com a vazão para detecção de eventual arrebentamento da tubulação.

Se houver subpressão ou sobrepressão nas tubulações associadas à um conjunto motor-bomba, que podem ser causadas por válvulas fechadas ou defeituosas, o conjunto motor-bomba deverá ser impedido de partir e se já estiver em funcionamento, deverá ser desligado.

A figura 5.7 representa um esquema de controle do sistema pelo monitoramento das características de operação das linhas de rede da estação elevatória de água.

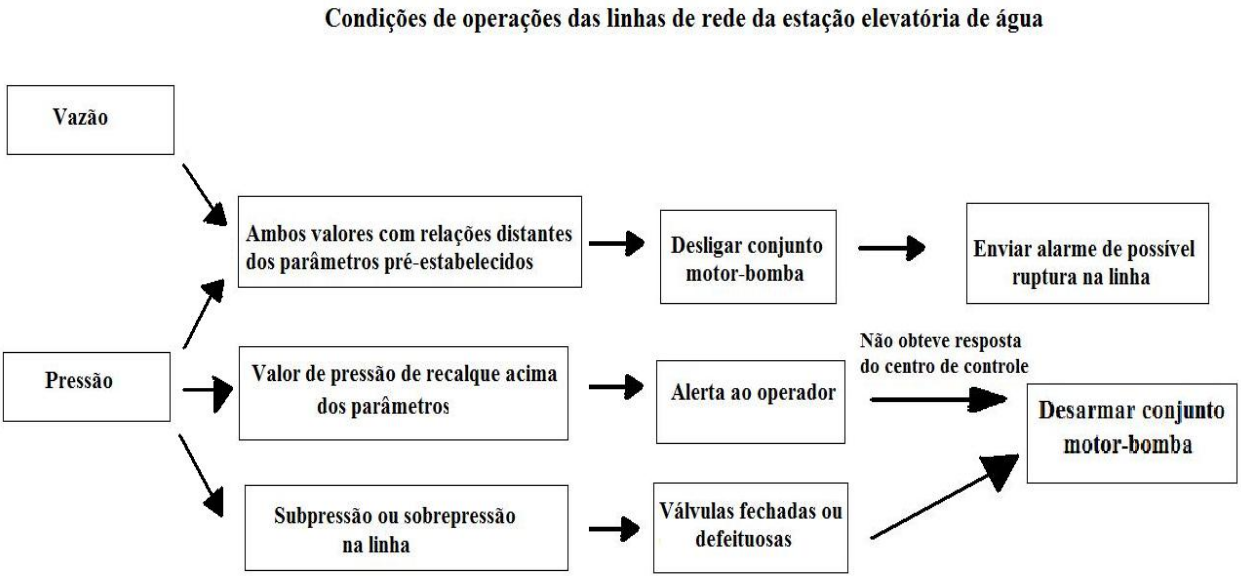
Condições de operações das linhas de rede da estação elevatória de água
Vazão
Pressão
Ambos valores com relações distantes dos parâmetros pré-estabelecidos
Desligar conjunto motor-bomba
Enviar alarme de possível ruptura na linha
Valor de pressão de recalque acima dos parâmetros
Alerta ao operador
Não obteve resposta do centro de controle
Desarmar conjunto motor-bomba
Subpressão ou sobrepressão na linha
Válvulas fechadas ou defeituosas

Figura 5.7 – Condições de operações das linhas de rede da estação elevatória de água

5.3 Instrumentação e modo de operação e controle dos reservatórios

Com a proposta de automatização, as ações que envolvem os reservatórios, desde o momento ideal para o acionamento das bombas até o fechamento ou abertura de válvulas, serão comandadas automaticamente. O funcionamento será registrado e controlado de forma precisa. Deste modo as análises deixarão de ser realizadas por uma suposição do pessoal de operação e passarão a ser realizadas pelo CLP e pelo software supervisório.

Cada reservatório terá uma UTR que ficará responsável pela transmissão e recepção de dados e comandos vindos do CLP mestre da casa de bombas.

Os reservatórios serão programados para armazenar um nível mínimo de água (10%) como reserva de emergência para casos de incêndio, acidentes, reparos nas instalações ou interrupções de adução. Caso o nível do reservatório fique muito próximo da reserva de emergência (12%), um sinal de alerta será enviado ao centro de controle e caso chegue realmente a este nível será emitido um comando de desligamento do conjunto motor-bomba e este só voltará a ser acionado por interferência do operador ou quando o nível do reservatório voltar a subir até 12%.

Os sensores ultra-sônicos irão monitorar os níveis do reservatório, enviando sinais de valores analógicos para que o valor dos níveis dos reservatórios possam ser acompanhados a todo momento.

Se o nível do reservatório à montante do conjunto motor-bomba estiver abaixo do limite pré-estabelecido (10) %, o sistema deve impedir o conjunto motor-bomba de funcionar e desligá-los de maneira escalonada.

Para assegurar os níveis dos reservatórios em caso de falhas no sistema analógico monitorado pelo sensor ultra-sônico, as chaves de nível tipo bóias serão instaladas no limite máximo e no limite mínimo do reservatório e serão utilizadas como proteção, e sinalizarão o problema ao centro de controle, assim como farão o comando de acionamento ou desarmamento de conjuntos motor-bomba.

Os comandos e lógicas das UTR's dos reservatórios servirão principalmente para monitorar o reservatório e somente em casos extremos realizar os comandos indicados na figura 5.8 que representa um esquema de controle do reservatório por meio de seus sensores.

O correto e usual funcionamento automático do sistema será programado de modo que os níveis dos reservatórios estejam sempre elevados. Para isso o sistema automático realizará a seguinte operação:

acionará as bombas responsáveis pelo recalque de água para o Campus de modo que a vazão desta possa suprir o máximo possível o consumo do sistema;

não irá operar em horário de pico, a não ser em casos de comandos especiais realizados pelos reservatórios, emergências ou comando feito por interferência do operador.

Para exemplificar o funcionamento do sistema, será considerado:

a) horário de maior consumo: 06:00h à 00:00h;
b) horário de pico: 19:00h às 22:00h;
c) demanda: 18,2 m3/h;
d) vazão média das bombas responsáveis pelo recalque de água para o Campus (bomba 1 e bomba 2): 18,8 m3/h.

De acordo com esses dados, a demanda diária do sistema será de 328 m3.

Para que o sistema opere com o reservatório sempre no nível mais elevado possível, repondo ao reservatório toda água consumida durante o dia, as bombas responsáveis pelo recalque de água para o Campus terão que operar de 06:00h às 19:00h e depois de 22:00h às aproximadamente 23:30h, totalizando 16,5 horas diárias de funcionamento das bombas.

Esse valor de horas é o mesmo daquele encontrado na tabela 3.5 do capítulo 3, a diferença é que, operando com sistema automatizado garante-se que as bombas não irão funcionar em horário de pico e que se a demanda aumentar o sistema poderá suprir sem correr o risco de faltar água, e o mais importante quando considerado o sistema atual: caso o consumo diário tenha sido menor que o previsto, o sistema automático e controlado não deixará que os reservatórios transbordem.

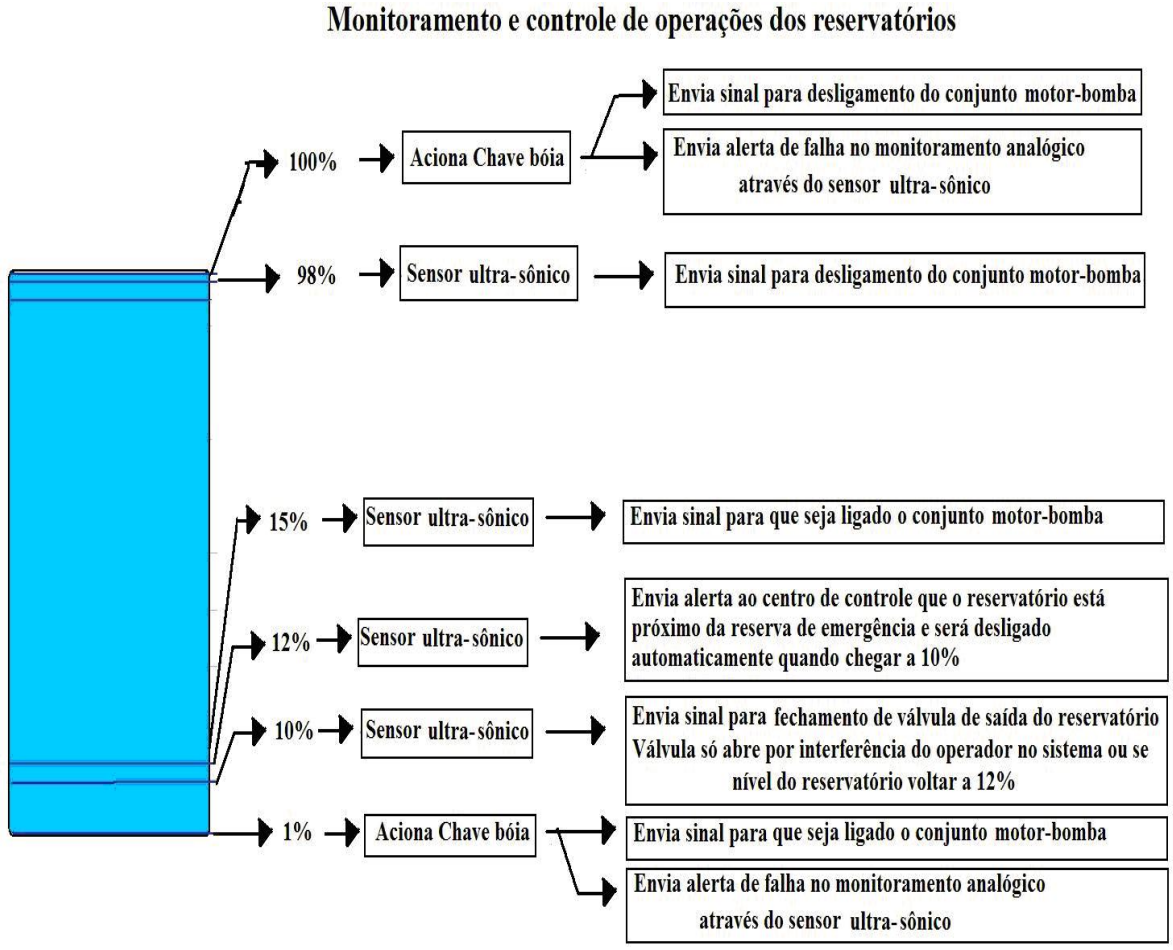
Monitoramento e controle de operações dos reservatórios
100%
Aciona Chave bóia
Envia sinal para desligamento do conjunto motor-bomba
Envia alerta de falha no monitoramento analógico através do sensor ultra-sônico
98%
Sensor ultra-sônico
Envia sinal para desligamento do conjunto motor-bomba
15%
Sensor ultra-sônico
Envia sinal para que seja ligado o conjunto motor-bomba
12%
Sensor ultra-sônico
Envia alerta ao centro de controle que o reservatório está próximo da reserva de emergência e será desligado automaticamente quando chegar a 10%
10%
Sensor ultra-sônico
Envia sinal para fechamento de válvula de saída do reservatório Válvula só abre por interferência do operador no sistema ou se nível do reservatório voltar a 12%
1%
Aciona Chave bóia
Envia sinal para que seja ligado o conjunto motor-bomba
Envia alerta de falha no monitoramento analógico através do sensor ultra-sônico

Figura 5.8 – Monitoramento e controle de operações dos reservatórios

5.4 Sistemas de proteção

Os sinais de proteção são pré-condições para o correto controle das operações do sistema.

O sistema fará o monitoramento contínuo de sinais de proteção e com isso conseguirá obter um tempo menor de parada para manutenções que, sem esse monitoramento, não poderiam ser previstas. Isso contribui para uma ótima eficiência do sistema de abastecimento de água (TSUTIYA, 2006).

5.4.1 Formas de operação e controle dos sistemas de proteção

Segundo TSUTIYA (2006), algumas recomendações são importantes e devem ser seguidas para que o sistema opere corretamente, e dentre elas, destacam-se:

a) no modo automático o comando e proteções dos equipamentos devem ser realizados pela interface homem-máquina através do sistema supervisório ou se necessário pela interferência do operador, mas as proteções instaladas nos painéis locais também devem atuar no automático. Somente os comandos do painel local devem ser bloqueados, com exceção do botão de emergência;

b) no modo local o operador pode comandar o processo a partir do conjunto de dispositivos dos painéis locais, mas os comandos só devem ser efetivados se estiverem de acordo com o programa e as proteções previamente programadas na unidade controladora;

c) quando se fizer a manutenção do sistema, as proteções de equipamentos devem continuar ativas, mas não as proteções hidráulicas e sistêmicas. O modo de manutenção deve poder ser escolhido mesmo se o sistema perder o sinal com a unidade controladora (TSUTIYA, 2006).

6 CONCLUSÃO

Com a análise sobre o funcionamento atual da estação elevatória de água do campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto através de seus dados de operação, modo de controle e sistemas de proteção existentes foi possível perceber os benefícios que a automatização traria para este sistema.

A pesquisa sobre como outras estações elevatórias de água foram automatizadas e as vantagens adquiridas com essa automatização contribuíram para que a proposta de automatização fosse feita baseando-se em experiências de projetos já concretizados em outros sistemas de abastecimento de água.

A proposta de automatização da estação elevatória de água da UFOP representa a possibilidade de se ter um sistema seguro, confiável e preciso, através do qual pode- ser monitorada toda a estação elevatória de água.

O uso de CLP para efetuar a lógica de controle permite ao sistema utilizar de recursos importantes no comando destes, como por exemplo os intertravamentos, controles seqüenciais, controles on-off e análises de variáveis obtidas pela instrumentação, proporcionando o monitoramente e controle de valores de entradas e saídas analógicas e digitais.

Devido ao fato dos componentes do sistema se encontrarem em diferentes localizações e algumas unidades serem localizadas a uma certa distância uma das outras, a utilização de UTRs permiti que as unidades do abastecimento sejam sempre monitoradas e controladas de acordo com a lógica programada. Atualmente existem no mercado UTRs que possuem alta tecnologia e são capazes de em um único equipamento incorporar interface de comunicação, interface de potência e transceptor de rádio. Elas conseguem garantir ao sistema precisão e segurança, até mesmo em caso de perda de comunicação com a estação mestre do sistema, que na proposta de automatização é o CLP, e são capazes de monitorar e acionar equipamentos e cargas à distância, tais como válvulas, conjunto moto-bomba, realizar controle de nível em reservatórios, medição de grandezas analógicas, dentre outras aplicações, com alta confiabilidade.

Com a automatização do sistema as bombas não seriam mais operadas manualmente, fazendo com que o sistema fosse controlado por CLP e software supervisório, proporcionando

configurações diferentes ao sistema onde seria possível escolher o método de controle e operação, existindo também as possibilidades de controle manual propriamente dito, de controle automático com interferência do operador nos parâmetros ou o controle de maior otimização e qualidade, ao qual este trabalho priorizou, que é aquele feito de forma totalmente automatizada e desassistida utilizando-se de telemetria, telecomando e telesupervisão realizada por um software autônomo capaz de analisar dados e tomar decisões.

A instrumentação de campo proporcionaria ao sistema o controle de seus reservatórios, fazendo com que estes fossem operados de maneira eficiente e com qualidade, de modo que os problemas até então existentes com falta de monitoramento, desconhecimento dos níveis e trasbordamento seriam eliminados proporcionando um sistema seguro com redução de desperdício de água e de energia.

Os sensores existentes na casa de bombas fariam o monitoramento das condições de operação das bombas, informando sempre os valores de temperatura, tensão, corrente e potência, de modo a aumentar a confiabilidade, garantir condições adequadas de operação, proteger a rede elétrica, possibilitar uma manutenção preventiva e diminuir os tempos de reparos no sistema e em equipamentos.

O uso de válvulas motorizadas possibilitaria a correta operação das bombas e segurança nas manobras hidráulicas.

Os sensores eletromagnéticos de vazão e os transdutores de pressão garantiriam as condições hidráulicas do sistema, permitindo o constante monitoramento, registro de dados do funcionamento e possíveis rupturas da tubulação, proporcionando a otimização da rede hidráulica. Com este monitoramento haveria também a redução de perdas de cargas e do desperdício de água.

Através do comando automático das bombas, poderia ser feita a programação destas de modo que as bombas só operassem no horário de pico em casos de emergência ou interferência de controle pelo operador, o que beneficiaria a rede elétrica e poderia trazer redução de gastos com energia elétrica.

Um sistema automatizado garante a segurança das operações de controle e dos equipamentos, possibilita também a existência de sistemas de proteção, emergência e falha, os quais a qualquer sinal de anomalia no abastecimento executam os comandos e alarmes necessários.

A instrumentação aliada à tecnologia da informação faz com que o uso do software supervisório proporcione diversas vantagens ao sistema. Através do uso dos softwares é

possível monitorar o sistema à distância e ainda gerar gráficos e relatórios através dos dados armazenados.

Toda a automatização proposta neste trabalho foi feita visando os benefícios de sistemas de abastecimento de água, tais como segurança, confiabilidade, agilidade no tratamento de informações, redução de custos com manutenções, energia e redução do desperdício de água, de modo que a interferência humana no processo seja mínima.

A proposta de automatização da estação elevatória de água do campus Morro do Cruzeiro da UFOP presente neste trabalho viabilizou um sistema seguro, otimizado e de qualidade e as principais desvantagens verificadas no sistema atual poderiam ser solucionadas de forma eficiente e com bons resultados.

REFERÊNCIAS

ALFACOMP. **A Telemetria via Sistemas de Rádio Modem.** Porto Alegre: Alfacomp, 2006.

BEGA, E. A.; **Instrumentação industrial.** Editora Interciência. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.

BRANDÃO JÚNIOR, M., **Tecnologia de automação para centro de controle operacional como resultado de gestão de projeto integrado.** Seminário Hispano-brasileiro Sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa, n., p.1-13, 2004.

CARVALHO, D. F.., **Instalações Elevatórias.** Bombas. FUMARC - Fundação Mariana Resende Costa. 5ª Edição. Belo Horizonte, 1992.

DACASH, N.G., **Sistemas Urbanos de Água.** Livros Técnicos e Científicos Editora. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 1979.

DANFOS. **Transmissores de pressão**. Disponível em: <http://www.danfoss.com/Latin_America_portuguese/BusinessAreas/IndustrialAutomation/Products_pdf/Pressure+Transmitters.htm>. Acesso em: 10 jul. 2009.

DIAS, C. A., **Técnicas Avançadas de Instrumentação & Controle de Processos Industriais.** Editora e Gráfica ao Livro Técnico, 1ª edition, 2005.

DEGREMONT , **Water Treatment Handbook**. V.2. Lovoisier Publishing Inc. Sixth Edition. Paris, 1991.

DU-O-LAP . **Bombas centrífugas.** Disponível em: <http://www.du-o-lap.com.br/o_selo_mecanico.htm>. Acesso em: 15 jun. 2009.

FALCIONE, A., KROGH, B. H., **Design Recovery for Relay Ladder Logic**. IEEE Transactions on Automatic Control, 13(2):90–98, abril 1993.

FURG (Org.). **Entradas e saídas de CLPs.** Disponível em: <www.cti.furg.br/~santos/apostilas/AutomacaoIV_230505.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2009.

HYDRAULIC INSTITUTE STANDARDS. **For centrifugal rotary & reciprocating pumps**. 14th ed., Cleveland, Ohio, 1983.

IEC. **Programmable controllers − Part3: Programming languages**. IEC International Standard 61131 − 3, Janeiro 2003.

IEC. **Specification Language GRAFCET for Sequential Function Charts**. IEC International Standard 60848, Fevereiro 1999.

INOTECH (Org.). **Chave de nível.** Disponível em: <http://www.inotech.ind.br/produto_ver.asp?cod=84>. Acesso em: 22 jun. 2009.

KCEL-MOTORES E FIOS (Org.). **Motor de indução.** Disponível em: <http://www.kcel.com.br/MyFiles/Catálogos%20Novos%20Motores%20e%20Geradores/Manual%20de%20Motores%20Elétricos.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2009.

LAMPIERE-COUFFIN, S., ROSSI, J. M., LESSAGE, J. **Formal Validation of PLC Programs : A Survey**. University Laboratory in Automated Production Research, Julho 1999.

MOON, I. **Modeling Programmable Logic Controllers for Logic Verification**. IEEE Transactions on Automatic Control, 14(2):53–59, Abril 1994.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, n. , p.36-48, 2005.
PNDA – Programa Nacional de Combate Brasília: Sepurb/sedu/pr, 1999.

NICOLAU, V. P., GUTHS, S., **Medição de Vazão**. Disponível em: <http://srv.emc.ufsc.br/labtermo/Pdf/Vazao2.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2009.

NOGAMI, P.S.; YASSUDA, E.R.- **Captação de água subterrânea**. Técnica de Abastecimento e Tratamento de água. v. I.CETESB. São Paulo, 1976.

OLIVEIRA, M. A., **Sensores de nível.** Porto Alegre: Ufsc, 2007.

TSUTIYA, M. T., **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água.** ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2006.

_____ **Abastecimento de Água.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da universidade de São Paulo. 3 ª Edição. São Paulo, 2006.

UFCG . **Motor de indução.** Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/CurvEnc3.html>. Acesso em: 05 jun. 2009.

CEPEX . **Válvulas motorizadas.** Disponível em: <http://www.inotech.ind.br/produto_ver.asp?cod=84>. Acesso em: 25 jun. 2009.

WEG. **Catálogo Geral de motores elétricos**. Novembro de 2001.